

LE
SIDÉROLITHIQUE SUISSE

CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE
DES
PHÉNOMÈNES D'ALTÉRATION SUPERFICIELLE
DES SÉDIMENTS

PAR LE

D^r ERNEST FLEURY

FRIBOURG (SUISSE)
IMPRIMERIE FRAGNIÈRE FRÈRES
—
1909

LE SIDÉROLITHIQUE SUISSE

CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE
DES
PHÉNOMÈNES D'ALTÉRATION SUPERFICIELLE
DES SÉDIMENTS

THÈSE

PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE FRIBOURG (Suisse)
POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR



PAR

ERNEST FLEURY

de Vermes (Jura-Bernois)

FRIBOURG (Suisse)
IMPRIMERIE FRAGNIÈRE FRÈRES

1909

Extrait des Mémoires de la Société fribourgeoise
des Sciences naturelles

Série : Géologie et Géographie. Vol. VI.

A MA TANTE

Hommage de reconnaissance

et de profonde affection



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545307_0020

PRÉFACE

Ce travail n'est qu'une étude d'ensemble sur la formation sidérolithique en Suisse et une entrée en matière d'une série de recherches plus complètes que je me propose de poursuivre sur la métallogénie des fers en grains et sur les formations dues à l'altération superficielle.

J'ai choisi le Sidérolithique suisse, particulièrement celui du Jura, parce que j'avais l'occasion de l'observer fréquemment dans les environs de Delémont (Jura bernois) et aussi parce que en l'étudiant, j'ai pu constater l'insuffisance des vieilles théories formulées par les fondateurs de la géologie jurassienne : A. Gressly, A. Quiquerez, le Dr J.-B. Greppin.

Un autre motif encore me poussait vers ces études. Après un long passé qui ne fut pas sans gloire, l'industrie sidérurgique jurassienne, dont la mort fut pronostiquée déjà en 1854, agonise lentement : deux puits, un seul haut fourneau, c'est tout ce qui subsiste de cette industrie, encore si prospère il n'y a qu'un siècle. L'abandon successif des mines a considérablement réduit le domaine des observations et il m'a semblé prudent de ne pas attendre plus longtemps pour étudier une fois encore ce problème, que tous reconnaissent, très intéressant, mais aussi très difficile.

Je ne me fais aucune illusion sur la valeur de ce travail. Il y a des incorrections sans doute et aussi des lacunes. On pourra critiquer certaines conceptions, soulever des objections et j'en prévois même plusieurs. Mais, je veux espérer que tous ceux qui m'ont aidé et honoré de leurs conseils et je les en remercie, voudront bien, en me faisant connaître

leurs critiques, me continuer leur aide généreuse. Ce sera pour moi une récompense des quelques efforts que ces premières recherches m'ont coûté et aussi un encouragement à les pousser plus avant.

Je suis heureux d'exprimer ici toute ma gratitude à M. le prof. R. de Girard, mon maître, durant les années que j'ai eu l'avantage de passer sous son excellente direction à l'Université de Fribourg et à M. le prof. J. Brunhes qui m'a fait connaître la géographie et dont les conseils m'ont été si utiles.

J'ai aussi le devoir très agréable de remercier bien vivement M. le prof. H. Schardt, à Veytaux, qui m'a guidé et dirigé dans les excursions géologiques dans le Jura neuchâtelais et qui a bien voulu mettre à ma disposition sa bibliothèque et ses riches collections ; M. le prof. L. Rollier, à Zurich, qui m'a beaucoup aidé dans l'étude du Jura bernois ; M. A. Carnot, qui a facilité mes recherches aux collections et dans la bibliothèque de l'Ecole des Mines de Paris.

J'exprime tous mes remerciements pour les excellents conseils qu'ils ont bien voulu me donner à M. L. de Launay, professeur à l'Ecole des Mines de Paris ; à M. E. van den Brœck, ancien secrétaire de la Société belge de Géologie, à Bruxelles ; à M. de Grossouvre, ingénieur des Mines à Bourges.

Je remercie aussi tous ceux qui m'ont aidé en me communiquant des indications nouvelles ou en facilitant mon travail. Je me ferai un devoir de rendre à chacun ce qui lui est dû, lui laissant tout le mérite et aussi la responsabilité.

Je remercie tout spécialement :

M. Dr Baumberger, prof. à Bâle.

M^{me} Veuve Bleicher, à Nancy.

MM. Bendy, curé à Courchapoix (près Delémont).

Dr Chappuis, à Grandfontaine (J. b.).

Prof. Ch. Depéret, de l'Université de Lyon.

J.-A. Frey, ingénieur, inspecteur des Mines du Canton de Berne.

- MM. D^r Gaubert, assistant de M. le prof. Lacroix, à Paris.
P. Girardin, prof. à l'Université de Fribourg.
D^r Koby, prof. à Porrentruy.
L. Maître, curé à Courfaivre (J. b.).
E. de Margerie, à Paris.
Stanislas Meunier, prof. au Muséum, à Paris
Sämann, directeur des Usines L. de Roll., à Choindez
(J. b.).
D^r A.-G. Stehlin, conservateur du Musée, à Bâle.
Steinmann, prof. à Fribourg en Brisgau.
Tobler, prof. à l'Université de Bâle.
Thurler, maître mineur, à Delémont.
Thurler, archiviste, à Berne.
-

« Le savant devrait plus que tout autre, pouvoir compter sur le souvenir pieux, de ceux qui, plus ou moins consciemment, sont ses élèves et suivent ses traces ».

(L. DE LAUNAY: *la Science géologique*
p. 10, 1906).

I

HISTORIQUE

Sous le nom de *Sidérolithique* ¹⁾, on comprend toute une formation géologique, très complexe et très spéciale, d'allure et d'aspect excessivement variables, ordinairement caractérisée par des minerais de fer en grains, pisiformes ou pisolithiques, plus particulièrement connus sous le nom allemand de *bohnerz* ²⁾, lesquels ne représentent toutefois qu'une partie relativement faible de l'ensemble du dépôt. Ils sont en effet toujours très liés, mélangés ou subordonnés à des argiles ferrugineuses, les bols; à des terres réfractaires, à des sables siliceux, à des calcaires même.

Leur utilisation industrielle, tant en France que dans l'Europe centrale, remonte à une époque très reculée. Elle paraît absolument démontrée par l'histoire et par l'ar-

¹⁾ Cette expression [du grec *σίδηρος* fer et *λίθος* pierre], dont le choix n'est pas très heureux, est due à J. Thurmman, quoique faussement attribuée à A. Gressly. Son orthographe bien que régulièrement fixée par l'étymologie n'est pas généralement admise. Certains auteurs, surtout les anciens et quelques modernes encore, écrivent *sidérolithique*, comme par exemple: Thurmman, Gressly, Greppin, MM. de Lapparent, L. de Launay, le lexique du Congrès géologique de Paris de 1900 etc. D'autres au contraire, comme Jordan, Renevier, le prof. Schardt etc. admettent *sidérolitique*, contrairement à l'étymologie; mais c'est plus simple. La règle de Dana, justifie bien: sidérolite, silicalite, oolitique, etc...?

²⁾ Bohnerz [de l'allemand *bohne*: *haricot*] est l'équivalent de pisolitique, ou pisiforme des français. L'expression est très ancienne et bien antérieure à P. Mérian.

chéologie, pour les anciens *Bituriges* du Berry et les *Pericorci* du Périgord et fort probable pour les anciens *Celtes* du Jura. D'une façon générale, elle est indéniable, pour l'époque de l'occupation romaine des Gaules, de l'Helvétie et de la Germanie. Très importante durant tout le moyen-âge, cette industrie est parvenue jusqu'à nous, sans épuiser ses réserves naturelles. Toutefois, elle n'est plus que faiblement représentée aujourd'hui : *la situation topographique des gisements, leurs conditions géologiques, ils sont pour l'ordinaire très fréquents, mais peu abondants, la concurrence des grands centres miniers surtout*, ont provoqué l'abandon successif de la plupart des exploitations. Les gisements allemands ne sont plus exploités, beaucoup sont épuisés; ceux du Centre de la France, comme ceux de l'Est sont presque tous abandonnés actuellement; dans le Jura même, des nombreux hauts-fourneaux en pleine activité il n'y a qu'un demi-siècle, il ne subsiste plus que celui de Choindez et l'exploitation du minerai y est restreinte au seul « Val de Delémont ».

Les autres matériaux sidérolithiques, bols, sables, terres réfractaires, bien connus et justement appréciés, n'ont jamais donné lieu qu'à des exploitations locales et intermittentes de courte durée. Comme pour les minerais, le caractère essentiellement sporadique des gisements, s'oppose à toute tentatives d'utilisation ¹⁾.

Les anciens naturalistes ne paraissent pas avoir remarqué beaucoup ces formations ferrugineuses et ce n'est qu'exceptionnellement que quelques-uns d'entre eux en font mention. Cependant on les trouve indiquées dans quelques anciens journaux de voyage sous les noms de « *minera ferri*

¹⁾ A. QUIQUEREZ : *Notice historique et statistique sur les mines, les forêts et les forges de l'Ancien évêché de Bâle*, 1855. J'ai présenté un petit travail sur ce même sujet, à une réunion d'étudiants à Montier, je pense le publier prochainement. Pour ce qui concerne le côté historique de la question, on peut consulter aussi DE LAUNAY : *Le fer dans l'antiquité : Ferrum* ; in grande Encyclopédie.

subaquosa globosa » et déjà de *bohnerz*. Mais on peut généralement admettre, que ce n'est guère qu'avec les premières années de calme et de repos qui suivirent la grande épopée napoléonienne, si troublée et si accaparante, que commença l'étude régulière et suivie des minerais de fer en grains. Tout ce qui a été écrit à leur sujet avant 1820, il n'y a d'ailleurs que peu de chose, concerne surtout et presque exclusivement leurs propriétés industrielles. On rencontre déjà quelques analyses chimiques, souvent erronées ou des rapports plus ou moins scientifiques, consacrés à des minerais supposés argentifères ou même aurifères. Certains ouvrages peu connus aujourd'hui, contiennent même des renseignements précieux, comme par exemple, ceux de J. Hory, A. Amiet, J.-J. Scheuchzer, E. Bertrand, de Saussure, Vauquelin, Duhamel, L. de Buch, Ebel, Leschevin et de bien d'autres ¹⁾.

Le premier travail véritablement intéressant consacré aux minerais de fer en grains est une description de la mine de Poissons ²⁾, dans la Haute-Marne ; mais c'est au professeur bâlois, P. Mérian ³⁾, que reviennent le mérite et l'honneur de la première étude générale des *bohnerz*. L'œuvre de Mérian est considérable déjà ; mais elle n'est pas absolument personnelle, elle s'inspire des travaux du Dr J.-G. Ebel ⁴⁾ et aussi de ceux du géologue zurichois, qui devait devenir si célèbre plus tard sous le nom d'Escher von der Linth ⁵⁾. A eux trois, déjà en 1821, ils avaient reconnu que « sur les pentes méridionales du Jura argovien, les *bohnerz*, disséminés dans une argile ferrugineuse, étaient re-

¹⁾ Consulter l'Index bibliographique.

²⁾ BAILLET : *Mémoire sur les minières de Poissons (Hte-Marne)*.
Voir Index : Darcet, 1799.

³⁾ P. MÉRIAN : *Beiträge zur Geognosie* B. I. p. 150-156. 1821.

⁴⁾ J.-G. EBEL : *Anleitung die Schweiz zu bereisen* (Voir Mérian 1821).

⁵⁾ ESCHER A. VON DER LINTH : *Ueber die Jura Ketten* (Voir Mérian 1821).

couverts par des formations du grès suisse (mollasse) ou par un schiste lignitifforme à planorbes et coquillages d'eau douce ». Ils savaient également, par Ebel surtout, que ces mêmes bohnerz reposaient sur les formations jurassiques, mais qu'ils pouvaient aussi, par les fentes et les crevasses, pénétrer en leur intérieur, plus ou moins profondément. En d'autres termes, ils avaient reconnu aux dépôts de bohnerz, un *substratum* et un *superstratum* ; mais par malheur, leurs observations furent méconnues, à tel point, que les géologues français qui poursuivaient les mêmes études, mirent plus de dix ans pour arriver au même résultat !

Peu après Mérian, Voltz ¹⁾, indiquait une exploitation de gypse, au-dessus d'un banc de bohnerz, dans les terrains tertiaires. Ce géologue qui connaissait très bien l'Est français, paraît avoir reconnu un des premiers en France, la position exacte des minerais de fer pisiformes. Toutefois, son influence fut insuffisante pour faire abandonner les vieilles idées ; mais elle est bien visible et on la reconnaît facilement dans l'évolution progressive d'un de ses disciples et amis : l'ingénieur der mines E. Thirria.

Alexandre Brongniart, dans un travail très intéressant sous plus d'un rapport, mais combien étrange parfois, essaya de démontrer le parallélisme des brèches osseuses et des minerais pisiformes, qu'il considérait comme de même position géognostique. Peu après dans sa classification des terrains, déjà si remarquable, il plaça les brèches osseuses ferrugineuses du Jura et de la Provence dans ses « Terrains élastiques » et les minerais pisiformes, dans les « plusiaques », deux étages voisins de sa « période diluvienne ou clysmienne », tandis que les bohnerz, qu'il distingue très nettement, sont en pleine série médio-jurassique dans les terrains « izémiens-pélagiques », du niveau du « Dichter Jurakalk mit bohnerz des Allemands » ou de la « Greath Oolith des Anglais ».

¹⁾ Voltz: *Aperçu de la topographie minéralogique de l'Alsace* 1828.

On a vivement incriminé Brongniart de cette classification et je n'ai pas la prétention de vouloir le disculper totalement; son erreur incontestablement manifeste, n'est cependant pas, pour lui, aussi illogique que certains l'ont prétendu. Il attribue les terrains clysmiens à des phénomènes de transport et d'alluvion et par conséquent les minerais pisiformes qu'il considère comme dus à des actions analogues, en font nécessairement partie. Par contre, il est étrange vraiment, que cet auteur qui avait visité le Jura suisse et dont il a laissé plusieurs coupes, qui connaissait Mérian ou tout au moins ses études sur les bohnerz, puisqu'il en fait mention, admette d'une façon générale, que les minerais pisiformes sont « superficiels ou tout au plus recouverts par des terrains d'alluvion ou par des roches également clysmiennes ». C'est récuser tout *superstratum* aux minerais en grains et par conséquent donner à leur classification une base sans caractère positif. On a prétendu que Brongniart avait été victime d'idées préconçues; mais il semble plutôt que son erreur résulte d'une généralisation forcée. Du fait que pour l'ordinaire, les gisements de l'Est et même du Centre de la France sont superficiels et non recouverts, il admettait une position analogue pour tous les gisements minéralogiquement et géognostiquement semblables !

C'est une confusion grossière sans doute; mais qui voudrait cependant lui en faire un reproche? Je ne pense pas que ce soient ceux qui, en disciples inconscients peut-être, mais plus ou moins esclaves cependant, ont soutenu presque jusqu'à aujourd'hui, les principes à peine modifiés de cette même opinion?

On doit encore à A. Brongniart ²⁾ une explication, ou du moins une tentative d'explication de l'origine et du mode de formation des minerais de fer pisolithiques, qu'il attribue

¹⁾ AL. BRONGNIART: *Tableau des terrains*, p. 27, 121, 122, 227 — 1829.

²⁾ A. BRONGNIART: *Notice sur les brèches osseuses*, p. 410. 1828 et *Observations additionnelles*, 1829.

à une précipitation chimique de l'oxyde de fer des eaux thermales, venant de la profondeur terrestre. Longtemps admise, cette hypothèse n'a plus que de rares partisans, du moins telle que la soutenait son auteur. Elle sera étudiée en détail dans la suite de ce travail.

Les idées de Voltz, déjà défendues par E. Thirria, mais méconnues, comme celles de ce dernier d'ailleurs, par Brongniart, reçurent une première confirmation par les travaux du professeur F. Walchner, de Carlsruhe. Thirria dès 1828 avait distingué les bohrnerz, des minerais remaniés et de ceux d'alluvion ¹⁾. Brongniart n'en tient pas compte et en plaçant les bohrnerz dans le Dichter Jurakalk, il suit servilement P. Mérian, qui leur avait reconnu cette position dans le Jura argovien. Des dépôts « géognostiquement semblables » se trouvaient ainsi répartis entre diverses couches stratigraphiques, par suite d'une confusion ou même d'ignorance. Walchner ²⁾ eut le mérite de justifier le premier cette répartition, en reconnaissant dans le Brisgau, aux environs de Kandern, deux niveaux différents et superposés pour les bohrnerz ; le premier, pouvant être considéré comme une dernière formation jurassique, voisine de celle de la Craie, peut-être même intermédiaire entre ces deux formations, comme on l'admettait pour le « Green Sand » des Anglais : le second plus récent, résultat d'une dislocation partielle ou même totale et d'une translocation des dépôts antérieurement constitués.

Reprenant alors ses idées premières, Thirria fit pour la Franche-Comté « un Terrain du fer pisiforme » ³⁾, le 4^e de la formation jurassique, reposant sur le calcaire à Astartes Sow, « le Kimmeridge-clay » et « le Portland-stone » de son

¹⁾ E. THIRRIA : Voir in Brongniart p. 19 de la *Notice sur les brèches*, 1828.

²⁾ F.-A. WALCHNER : *Mémoire sur les minerais des environs de Kandern*, 1830.

³⁾ E. THIRRIA : *Notice sur les terrains jurassiques de la Haute-Saône*..., 1830.

3^e étage. Mais bientôt, il le sépara totalement du Jurassique pour en faire un intermédiaire analogue au « Green Sand », ayant reconnu un superstratum marno-calcaire à planorbes, paludines etc. C'était en 1830 et Mérian avait publié ses *Beiträge zur Geognosie* en 1821 !

Dans le Centre de la France, un autre ingénieur des mines, Malinvaud ¹⁾, observait, à la même époque, au-dessus de minerais de fer en grains de la vallée de l'Aubois, un calcaire d'eau douce, par malheur sans fossiles, mais paraissant du niveau de celui de Beauce.

Les vieilles idées cependant imprégnaient toujours encore les doctrines qu'infirmait de plus en plus les nouvelles découvertes. Le superstratum des minerais de fer en grains, — car jusqu'alors on ne s'occupa guère des autres matériaux qui les accompagnaient —, signalé par Mérian après Ebel et Escher, renié par Brongniart, est enfin retrouvé par Thirria à la suite de Voltz, puis par Malinvaud. Il est donc dès lors reconnu pour le Jura (Mérian), pour la Franche-Comté (Voltz, Thirria) et le Cher (Malinvaud), et cependant l'influence de Brongniart n'est pas près de disparaître et pendant de longues années encore, le fer pisolitique restera confondu avec les minerais diluviens, comme le témoignent les manuels de d'Halloy ²⁾, de d'Aubuisson de Voisins ³⁾, etc.

Cependant, une ère nouvelle semble s'ouvrir. J. Thurmann de Porrentruy crée et propose pour les minerais pisiformes, l'expression *sidérolithique* ⁴⁾. L'intention de mon illustre compatriote était certes légitime et louable; il importait de préciser par une dénomination rigoureuse et exacte, ces

¹⁾ MALINVAUD : *Les minerais de fer de la vallée de l'Aubois*, p. 347. 1833.

²⁾ OMALIUS D'HALLOY : *Eléments de géologie*, p. 132 — 1831.

³⁾ D'AUBUISSON DE VOISINS : *Traité de Géognosie*, t. II, 477. 1829.

⁴⁾ J. THURMANN proposa l'expression nouvelle à la réunion de la Société géologique de France de 1836 à Strassbourg, à celle des Naturalistes allemands à Stuttgart et aussi à celle des Naturalistes suisses à Soleure.

minerais si divers, *pisiformes* pour les uns, d'*alluvion* pour les autres. Malheureusement, le but ne paraît guère avoir été atteint et par ailleurs, le choix même de l'expression n'était pas heureux. Le niveau géologique des minerais pisolithiques n'est pas constant et en outre, ce n'est pas le seul qui, dans le Jura, soit ferrugineux. Thurmann qui le savait parfaitement n'a donc même pas l'excuse de Lavoisier donnant aux corps nouveaux qu'il découvrait, des noms qu'il croyait caractérisés par des propriétés particulières (oxygène, azote, etc...).

A plusieurs reprises depuis, on a proposé d'abandonner cette dénomination qu'aucun motif sérieux, il faut le reconnaître, ne justifie. Pourquoi en effet, par exemple, appeler *sidérolithiques*, des sables qui ne contiennent pas trace de fer, qui sont de la silice à peu près pure ? Et d'ailleurs, l'ensemble des dépôts est loin de garder toujours le même aspect, la même allure, la même composition et par conséquent la même appellation, groupe des matériaux très divers. De plus, il n'y a pas qu'un seul sidérolithique, mais souvent une succession plus ou moins régulière. Walchner avait déjà reconnu deux assises, plus tard Jordan en indiquera cinq, pour le Lyonnais ! En résumé, l'expression n'a aucune précision, elle peut même causer de la confusion ; rien ne justifie son choix. Et cependant, quelque défectueuse et impropre qu'elle soit, pour la mémoire de son auteur, elle doit être maintenue, mais appliquée non plus à un échelon de l'échelle stratigraphique, mais exclusivement à un phénomène, à une formation géologique. Il n'y a pas *un* étage sidérolithique : aucune généralisation stratigraphique, aucun synchronisme général ne sont possibles ; mais il y a un accident minéralogique qui s'est produit à diverses époques, parallèlement à d'autres formations géologiques et qui a formé *des* Sidérolithiques. En d'autres termes, le Sidérolithique n'est pas un étage, si ce n'est quelquefois pour une région nettement délimitée, peu étendue et encore faut-il éviter toute généralisation ; mais il y a une modalité, un faciès sidérolithique continental.

C'est uniquement dans ce sens que cette expression sera employée dans le cours de ce travail. Sa traduction allemande n'est donc plus *bohnerz*, mais *Siderolithicum*. Le *bohnerz* est l'équivalent de fer en grains, du minerai pisolithique ou pisiforme, mais ni l'une ni l'autre de ces expressions ne sauraient être appliquées à l'ensemble des dépôts, à moins d'user de synecdoque !

Ayant dénommé son nouvel étage, Thurmann chercha ensuite à reconnaître son parallélisme avec les *Bohnerz de Mérian*, le *Nagelfluh jurassique* de quelques auteurs et le *Green Sand* des géologues anglais ¹⁾. De son côté, H. de la Bèche ²⁾ paraît partager la même opinion, puisqu'il groupe dans le « Weald-Clay », le *bohnerz* ou *Iron-Stone*, les *Kurzawka* de Pologne de Pusch ³⁾ et le « Green Sand ».

Les géologues neuchâtelois qui venaient de créer, avec Thurmann, leur étage néocomien, attiraient l'attention des travailleurs. Voltz, Thirria allèrent l'étudier sur place et à son retour, ce dernier ⁴⁾ pensait que le fer pisiforme pouvait être contemporain du Jura-Crétacé de la Franche-Comté et synchronique de ses assises inférieures. Thurmann ⁵⁾ de son côté, remarquait que la présence du Sidérolithique correspondait à l'absence du Néocomien, d'où il en concluait le synchronisme des deux formations, tandis que Simon ⁶⁾, confirmant toutes ces vues donnait une coupe de Sidérolithique, enclavé dans la craie de la Côte d'Or.

Vers cette époque 1838, commença à paraître, un livre assez oublié aujourd'hui, mais qui eut un retentissement énorme, par la *notion des faciès* qu'il introduisait dans la

¹⁾ J. THURMANN : *Essai sur les soulèvements*, 2^e cahier p. 37. 1836.

²⁾ H. DE LA BÈCHE : *A Geological Manual*. Pisiform iron... p. 245. 1831.

³⁾ PUSCH : *Esquisses géognostiques*, p. 218. 1830.

⁴⁾ E. THIRRIA : *Sur le terrain Jura-Crétacé de la Franche-Comté*, p. 95. 1836.

⁵⁾ J. THURMANN : *Essai sur les soulèvements*, p. 37. 1836.

⁶⁾ SIMON : in *Bull. Soc. Géol. France*, p. 375, IX, 1838.

science. Ce sont les *Observations géologiques sur le Jura soleurois* de Amanz Gressly. La dernière partie plus spécialement consacrée au Sidérolithique, ne parut qu'en 1841. L'influence de ce livre fut énorme au point de vue que concerne ce travail; Gressly était un observateur de premier ordre et un géologue distingué, mais il écrivait peu. Son livre ne contient pas moins une quantité considérable de renseignements précieux; il représente l'effort le plus important depuis Brongniart. Mais tandis que l'œuvre de ce dernier fit en quelque sorte école, celle de Gressly après avoir été soutenue avec enthousiasme, fut généralement tôt abandonnée et les exagérations du géologue soleurois eurent le mérite d'ouvrir elles-mêmes, à l'étude du Sidérolithique, sa vraie voie, semble-t-il!

Pour Gressly, le Sidérolithique appartient à la base du Crétacé. Dans les régions soleuroises et bernoises du Jura, les formations crétaciques ne sont que très peu représentées, elles font même complètement défaut. Le Sidérolithique lui-même n'est pas fossilifère pour l'ordinaire et au moment où Gressly publiait ses « *Observations géologiques* », les dépôts n'avaient encore fourni que de rares vestiges d'organismes permettant de leur attribuer un âge déterminé. Enfin, nous venons de voir que certains géologues, comme J. Thurmann, Thirria et quelques autres, considéraient le Sidérolithique comme une formation crétacique. D'ailleurs Gressly lui-même en rapportant à cette formation le Sidérolithique soleurois, prévoyait déjà, qu'il n'y avait pas qu'un seul niveau sidérolithique, mais qu'il était possible d'en rencontrer plusieurs, superposés ou distribués plus ou moins sporadiquement « depuis la fin de l'époque jurassique jusqu'à l'époque mollassique » ¹⁾,

Mais ce qui caractérise particulièrement l'œuvre de Gressly, — au point de vue qui nous occupe, — c'est son hypothèse à la fois hydrothermale et semi-plutonique de l'origine et du mode de formation des matériaux sidérolithiques.

¹⁾ A. GRESSLY; loc. cit. p. 288,

L'œuvre n'est pas absolument personnelle: Gressly subit l'influence de Brongniart, dont il emprunte les doctrines, se contentant de les développer, je dirais volontiers de les pousser à l'extrême. Comme ce dernier, c'est un catastrophiste et un partisan de la formation *per ascensum* des minerais en grains. Il est plus facile, car il n'y a pas à s'occuper des preuves, de faire venir du centre terrestre inconnu, des produits dont la provenance peut être contestée, que de rechercher parmi les processus dont nous sommes témoins, celui qui a pu les accumuler; mais ce serait une grossière injustice que d'attribuer à ces deux savants un pareil mobile. En défendant le principe d'une origine intra-terrestre, ils ne faisaient que suivre, comme nous le verrons plus loin, les idées générales de leur époque. Leur œuvre n'est pas parfaite: elle laisse trop de place à l'imagination, mais au point de vue du travail réalisé et des observations accumulées, elle mérite d'être signalée. Brongniart et Gressly sont les fondateurs et les maîtres de la vieille école sidérolithique: ils eurent de nombreux et enthousiastes disciples, qui toutefois deviennent de plus en plus rares. Sans doute, on pourrait leur reprocher, à l'un et à l'autre, d'avoir pour ainsi dire accaparé les esprits, au point que, durant de longues années, leurs doctrines transformées en principes à peine contestés, paraissent arrêter toute initiative personnelle! Mais le reproche ne semble pas réellement fondé ¹⁾. Leur influence a pu orienter les esprits, même servilement peut-être; toutefois elle fut cependant incapable d'arrêter les géologues dans leur travail d'observation. Faut-il la considérer comme néfaste, parce que en imposant des hypothèses, elle a mis une limite aux rêveries plus spéculatives que scientifiques, parce qu'elle a réduit les travailleurs à la

¹⁾ Et par ailleurs on pourrait faire le même reproche à tous ceux qui ont proposé une théorie ou même seulement une méthode nouvelle. Tout le monde sait pour l'ordinaire, que ce sont les disciples qui vont plus avant que le maître... Consulter: *La Science géologique* de M. de Launay. Introduction.

seule observation des faits? Je ne le pense pas. A propos des hypothèses elles-mêmes, il faut bien le reconnaître — et l'accueil qui leur a été fait le prouve assez, — elles étaient conformes à l'enseignement général d'alors et on ne saurait demander aux savants de devancer leur époque.

Les « *Observations géologiques* » ne sont cependant pas exclusivement spéculatives. Une partie considérable du livre mérite son nom et mérite d'être lue par tous ceux qui s'intéressent aux phénomènes de l'érosion continentale. Il est regrettable que Gressly n'ait pas publié plus tard, une continuation de cette première étude. Il n'écrivait pas très volontiers, mais fort heureusement, ses amis, Thurmman, Quiquerez, Greppin, nous ont conservé la majeure partie de ses observations !

L'âge crétacique du Sidérolithique venait à peine d'être admis, que de nouvelles constatations permettaient de le faire remonter seulement au tertiaire. Rozet ¹⁾ d'abord, puis E. Thirria ²⁾ dans la Côte d'Or, relevaient une couche de minerai pisiforme enclavée dans un calcaire d'eau douce fossilifère. Thirria reprenait ainsi ses premières idées et aussi celles de Voltz : c'était en 1838 et cependant jusque vers 1850, la plupart des géologues continuèrent de considérer les bohrnerz comme appartenant au niveau du « Green Sand ». Il est vrai que si Voltz ³⁾ avait été très affirmatif, c'était dans une communication verbale, passée inaperçue.

Favre ⁴⁾, par exemple, pensait que le Sidérolithique était plus récent que le Crétacé-inférieur, tandis que Elie de Beaumont ⁵⁾ et Dufrénoy ⁶⁾ d'après les notes de leurs cours

¹⁾ ROZET : *Sur le terrain crayeux et le banc de minerai... des environs de Dijon*, p. 148. 1838.

²⁾ E. THIRRIA : *Minerai de Magny*, p. 375. 1838.

³⁾ VOLTZ : Mentionné par Kœchlin-Schlumberger *Bul. Soc. Géol. France* p. 729. 1856.

⁴⁾ FAVRE : *Considérations sur le Mont-Salève*, p. 50. 1843.

⁵⁾ ELIE DE BEAUMONT : le cours n'est que lithographié et daté de 1858, voir p. 318.

⁶⁾ DUFRÉNOY : Son cours de 1844 est également lithographié.

de l'Ecole des Mines et des Ponts et Chaussées, le plaçaient avec les géologues anglais, dans la « formation wealdienne »; B. Studer ¹⁾ le laisse dans le crétacé, mais Alcide d'Orbigny ²⁾ dans sa classification de 1852, le rapporte encore au niveau du « Néocomien avec le calcaire ferrugineux de Marcon ».

A cette même époque, parut un petit mémoire du à un disciple de Gressly, au Dr A. Quiquerez ³⁾. C'est en quelque sorte la continuation des « *Observations géologiques* ». Mais Quiquerez va plus loin encore: cependant à côté des exagérations, il y a des observations intéressantes, dont beaucoup demanderaient à être vérifiées, ce qui est aujourd'hui souvent malheureusement impossible. Ce mémoire marque dans la bibliographie, le dernier grand effort de la vieille école sidérolithique: le catastrophisme va faire place à l'évolutionisme, qui avec A. Müller déjà et Kœchlin, avait vainement essayé de se frayer un passage. L'orientation nouvelle est provoquée par deux faits principaux, mais non nouveaux: *l'admission du superstratum sidérolithique* et les *découvertes d'ossements dans les dépôts*.

En France, E. Thirria ⁴⁾ après avoir fixé l'âge des dépôts de la Côte d'Or par les calcaires à lymnées, paludines et planorbes de Magny et de Mirebeau, établit leur analogie avec ceux du Berry.

En Allemagne les géologues de la Souabe, du Wurtemberg arrivent au même résultat et Jäger, le Dr Frass ⁵⁾, Quenstedt font connaître la faune à Palæotherium des gisements de Mooskirch, de Salmendingen... dans l'Albe... etc.

En Suisse, la vieille école de Gressly, Quiquerez, Thurmann, est à la veille de recevoir les premiers grands coups,

¹⁾ B. STUDER: *Geologie der Schweiz*, p. 271. 1853.

²⁾ ALC. D'ORBIGNY: *Cours élémentaire de Paléontologie...* t. II, p. 152. 1852.

³⁾ A. QUIQUEREZ: *Recueil d'observations*, 1852.

⁴⁾ E. THIRRIA: *Sur les similitudes...* V. Index bibliographique, 1851.

⁵⁾ Dr FRASS: *Découvertes d'ossements*, p. 266. 1852.

qui lui seront portés par un de ses anciens disciples, le Dr J.-B. Greppin. Tandis que Müller et Kœchlin cherchaient une voie nouvelle, par une interprétation plus actualiste du phénomène sidérolithique, c'est aux ossements recueillis et étudiés pendant plus de vingt ans, que Greppin demanda ses arguments.

En effet, déjà vers 1830, Hugi d'abord seul, puis avec Gressly, découvrait les premiers ossements aujourd'hui considérés comme sidérolithiques, dans des marnes très particulières, enclavées dans les bancs du Jurassique supérieur, à la vieille carrière de Sainte-Vérène¹⁾, près de Soleure. Duvernoy et Cuvier déterminèrent une molaire de *Palæotherium crassum* Cuv., une astragale de *Anoplotherium* (*Xiphodon*) *gracile* Cuv. Mais cette découverte, ne paraît pas avoir eu grande influence, puisque Gressly, qui la connaissait parfaitement pour y avoir participé, publia postérieurement cependant sa fameuse théorie. Il est vrai, qu'il ne considérait pas ces ossements comme sidérolithiques et qu'en outre, pour lui, le Sidérolitique était d'âge différent.

Mais à partir de 1840, Gressly mettait à jour d'autres gisements encore plus riches, à Egerkingen, à Obergösgen (canton de Soleure); Nicolet, Agassiz, et surtout le curé d'Oberbuchsiten, R. Cartier, lui aidèrent à les explorer; H. de Meyer et particulièrement Rüttimeyer firent la détermination des espèces.

C'est encore de cette même époque que date la découverte des gisements moins importants de Hungerberg près d'Aarau, de Stelli, près d'Oltén et peut-être de Balsthal.

Puis, vers 1852, deux géologues vaudois, Ph. de la Harpe et C. Gaudin, commencèrent à leur tour de faire connaître les gisements du canton de Vaud, du Mormont, de St-Loup, d'Entreroches, d'Eclépens, de Bavois, etc... qui livrèrent une faune riche et variée.

¹⁾ Pour les indications bibliographiques, consulter la partie consacrée à la Paléontologie et l'Index bibliographique.

Mais déjà alors, le Jura bernois avait également fourni quelques ossements ¹⁾. Dès 1852, le Dr Greppin possédait un os provenant des argiles sidérolithiques des environs de Courrendlin (au lieu dit le « Pertuja ») et que le prof. Pictet de Genève, rapportait au *Palaeotherium Crassum* Cuv. D'après Ph. de la Harpe et Gaudin, Thurmann aurait également recueilli quelques ossements dans les environs de Porrentruy. Quelques temps auparavant, le Dr Greppin avait reçu un os long de mammifère, que de Meyer ne put déterminer et qui provenait de la couche même du minerai en grains de la Combe rièrre Savre, près de Séprais, dans le Val de Delémont. Enfin, dans son mémoire de 1855, le Dr Greppin, signalait encore quelques autres trouvailles, dans la vallée de Delémont, à Develier-dessus (minièrre Paravicini), près de la route de Courrendlin (propriété Kohler...) etc... C'est dans un des puits de cette dernière station que Greppin découvrit les premières graines de *Chara*, dans un banc marno-calcaire qu'il appela plus tard la *Raitsche*, véritable calcaire d'eau douce, fossilifère et qui affleure en plusieurs points du Val de Delémont.

C'est à la suite de ces découvertes, que Greppin en arriva à considérer les dépôts sidérolithiques du Jura bernois, comme tertiaires et de même âge que les gypses éocènes du bassin de Paris. Toutefois, en 1855 encore, le Docteur ²⁾ n'a pu échapper complètement à la tutelle de Gressly, dont il défend la théorie, comme étant la plus fondée. S'il admet

¹⁾ Dr J.-B. GREPPIN: Matériaux, p. 158. 1870 et Notes géologiques 1855-1870.

²⁾ On a prétendu et je l'ai entendu répéter par quelques uns de ceux qui l'avaient connu, que le Dr Greppin avait abusé de la bonté de Gressly dans la publication de ses mémoires. Il est certain que Gressly dut lui fournir de précieux renseignements, comme à Thurmann, à Quiquerez et c'est d'ailleurs heureux pour nous; mais j'ai de la peine à admettre que nos premiers géologues aient « pillé » le premier observateur jurassien, leur vieil ami. Le fait que Greppin prit parti pour des idées absolument opposées, semble d'ailleurs un bon témoignage en sa faveur.

l'âge éocène des gisements de bohnerz, forcé par les découvertes faites dans le Jura bernois ou par celles du Jura soleurois ou du canton de Vaud, il n'ose cependant se séparer totalement sur ce point encore de son maître et ami, et il pense que tous les gisements de fer pisiforme ne sont pas nécessairement éocènes, que quelques-uns sont mêmes très probablement crétaciques.

Allant plus loin, trop pressé d'émettre une conclusion, il en arrive à déclarer que le Jura formait pendant le dépôt des bohnerz, « une terre attenante, d'un côté à la Suisse occidentale, de l'autre, à une partie du bassin de Paris et de l'Albe de Souabe » (p. 58).

Mais alors, tout en paraissant s'éclaircir, le problème ne fait que se compliquer d'avantage. Le Dr Greppin n'admet guère qu'un Sidérolithique éocène, celui du Crétacique n'étant que possible. Comment relier alors ce terrain si homogène avec les étages bien différenciés, caractérisés en Souabe par le Dr Frass ¹⁾ à la suite de Walchner ? Bien mieux, à la même époque déjà, la faune sidérolithique jurassienne paraissait complexe, avec les *Palæotherium medium* Cuv., *P. magnum* Cuv., *Anaplotherium* (*Xiphodon*), *Lophiodon*.. etc... Mais le Dr Greppin ne paraît pas s'en soucier. Son terrain sidérolithique, avec le *Nagelfluh jurassique*, forme « le groupe fluvio-terrestre inférieur », de la base du tertiaire.

Cependant, Greppin continue son évolution. De nouvelles découvertes de fossiles, qu'il fait avec Bonanomi, à Develier, dans les bols ou dans le calcaire lacustre, achèvent sa conversion : il abandonne enfin la théorie de son ami Gressly, mais il semble se rapprocher d'autant de celle de Brongniart. Le Sidérolithique lui apparaît bien comme une formation sédimentaire, due aux actions combinées des sources minérales, peut-être thermales et des grands courants. Il garde donc encore quelques teintes du catastrophisme et

¹⁾ Dr FRASS : *Découvertes d'ossements*, p. 266. 1852.

s'il échappe à Gressly, Thurmann avec ses théories du soulèvement l'influence encore : c'est dans des dépressions qu'il fait sourdre ses sources sidérolithiques. Et malgré tout, il s'acharne à maintenir l'unité de son terrain, il n'y veut reconnaître ni étages, ni groupes. Il lui faut arriver jusqu'à l'année 1867 ¹⁾ pour enfin se décider à le scinder en deux étages :

a) L'Eocène moyen, Parisien inférieur, ou Brèches à *Lophiodon* d'Egerkingen.

b) L'Eocène supérieur, Parisien supérieur ou terrain sidérolithique à *Palaeotherium*, *Cainotherium* du Jura en général.

C'est la même division qu'il maintient dans son dernier grand mémoire sur le Jura bernois, publié en 1870 ²⁾.

Pour en arriver à ces résultats, le Dr Greppin avait eu besoin des indications fournies par le prof. Rüttimeyer ³⁾, qui avait étudié la faune d'Egerkingen. Les géologues français habitués, par la variabilité plus grande des dépôts, à des idées moins fixistes, n'avaient pas attendu si longtemps et dès 1861 le prof. Jordan ⁴⁾ établissait cinq niveaux sidérolithiques pour la région lyonnaise :

1° Le Sidérolithique éocène sup. d'Egerkingen, du Morment.

2° Le Sidérolithique néocène sup., ou miocène proprement dit de la Grive-St-Alban (Isère).

3° Le Sidérolithique pliocène inf. de St-Germain et du Mont-d'Or.

4° Le Sidérolithique pliocène sup. de Poleymieux.

5° Le Sidérolithique quaternaire de St-Didier et du Mont-d'Or.

¹⁾ Dr J.-B. GREPPIN : *Essai géologique*, p. 116. 1867.

²⁾ Dr J.-B. GREPPIN : *Description géologique du Jura*, p. 144-162. 1870.

³⁾ RÜTIMEYER : *Eocaene Saugethire...* 1862.

⁴⁾ JORDAN : *Des terrains sidérolithiques*, C. R. Ac. des Sc. 1861, p. 1009, t. 61,

Toutes ces considérations ravivèrent une vieille querelle ¹⁾, déjà soulevée contre Thurmman, au sujet de l'expression même de sidérolithique... Certains proposaient tout simplement de la supprimer, puisqu'elle ne désignait aucun étage proprement dit; mais qu'elle convenait à une série de niveaux. S'il était facile de supprimer, il était difficile de remplacer et aujourd'hui encore et aussi pour le même motif, cette expression, si imparfaite soit-elle, ne saurait être rejetée.

D'après cet exposé historique, on pourrait croire que la conversion du Dr Greppin fut brusque et subite; mais j'ai déjà dit, que chacun de ses stades fut provoqué par de nouvelles découvertes de fossiles à Develier, à Delémont, à Moutier en 1862, ou par les publications de Rüttimeyer etc... Il y a cependant encore une autre cause. La théorie de Gressly, ne fut pas si généralement admise que certains esprits, plus positifs, ne cherchassent une interprétation moins fantaisiste. Très tôt déjà, le professeur bâlois A. Müller ²⁾ proposait une explication de la formation des éléments sidérolithiques par le phénomène de la dissolution des roches par des eaux acides. En voulant préciser d'avantage l'hypothèse de Müller, Kœchlin ³⁾ ne faisait guère que la compliquer, y introduisant les actions complexes de nouveaux phénomènes chimiques.

C'est à Müller et à Kœchlin surtout, comme le témoigne sa correspondance, que le Dr Greppin dut les premiers pas de sa conversion. Sans doute, les ossements, les fossiles, la stratification des couches dans les dépôts qu'il observait déjà dans son « Terrain sidérolithique », l'auraient amené un jour à ce même résultat; mais tous nous savons com-

¹⁾ LEVALLOIS : *Note sur les minerais de fer en grains...* p. 183. 1870.

²⁾ A. MÜLLER : *Ueber der Entstehung der Eisen und Manganerz im Jura*, t. I p. 98. 1853.

³⁾ KÖCHLIN-SCHLUMBERGER : *Notes géologiques sur le Haut-Rhin*, p. 729. 1856.

bien il est difficile d'abandonner une vieille idée bien admise et par ailleurs, l'évidence des faits n'est-elle pas fonction d'une maturation intellectuelle individuelle ?

Les hypothèses de Müller et de Kœchlin ont encore un autre mérite plus grand : elles sont le point de départ d'une réaction contre les vieilles idées de Brongniart et de Gressly et elles préparent celles de l'école sidérolithique moderne.

Si Brongniart dans sa théorie hydrothermale, garde quelque chose, une légère teinte, de l'actualisme de Buffon, il est cependant entraîné par le catastrophisme de Cuvier. Gressly, lui, est exclusivement catastrophiste, par Brongniart qu'il suit servilement, par son temps qu'il subit et surtout par son ami J. Thurmann, l'auteur de la théorie des « Soulèvements », qui arrivait de l'Ecole des Mines de Paris, où il avait fréquenté Elie de Beaumont ! Müller, cet esprit si ouvert, trop oublié et trop mal connu, le premier, cherche une voie nouvelle et si malgré ses efforts, malgré l'aide de son ami Kœchlin, il n'arrive pas à la frayer, il l'a du moins ouverte. Et par eux, par leur évolutionnisme, les doctrines sidérolithiques passeront à l'actualisme moderne, représenté par deux grands courants, dirigés, l'un par le professeur Dieulafait ¹⁾, l'autre par le savant géologue belge Ernest van den Brœck ²⁾. Tous deux accordent à l'eau une action prépondérante : le premier se rapproche surtout de Müller, attribuant à la dissolution chimique le rôle principal, tandis que le second invoque avant tout les phénomènes d'altération superficielle, la décalcification particulièrement.

De plus, à partir de 1870, deux directions se manifestent très nettement dans les études sidérolithiques. Les paléontologistes cherchent à reconnaître l'ère d'évolution ou de distribution verticale des espèces et les géologues étudient les variations pétrographiques du phénomène lui-même. Il

¹⁾ DIEULAFAIT : *Origine et mode de formation des phosphates*, p. 204. 1884.

²⁾ E. VAN DEN BRÛCK : *Mémoire sur les phénomènes d'altération des dépôts superficiels*. 1881.

en résulte d'abord un remaniement et un développement énormes des connaissances stratigraphiques et ensuite, des acquisitions considérables, nouvelles et variées.

Pour se faire une bonne idée du travail effectué durant ces trente et quelques années, on peut consulter avec profit l'excellent traité de M. A. de Lapparent¹⁾, dont les cinq éditions représentent le monument le plus complet de toute la bibliographie géologique française.

Mais, pour l'instant, occupons-nous de l'œuvre des géologues.

Dès 1872, un chimiste français, Poumarède, découvre à Caylus dans le Tarn, les premiers gisements de *phosphorite de chaux*. C'est le point de départ d'une série de recherches dans toute la région formant la bordure sud et sud-ouest du Plateau Central. La mise à jour d'une faune nouvelle, riche et inconnue en est le premier résultat scientifique. Puis bientôt, pour des motifs à la fois paléontologiques et pétrographiques, les phosphorites sont considérées comme une forme locale, une sorte de faciès dû au phénomène sidérolithique.

Allant plus loin encore, certains géologues pensèrent pouvoir rapprocher des bols et des bohnertz, en raison d'une communauté d'origine, les bauxites de la Provence (Var), les matériaux de certains remplissages à argiles phosphatées ou à nodules de phosphates de chaux (Jura neuchâtelois). Bien mieux, quelques-uns même ont essayé d'assimiler les bohnertz et surtout les bols sidérolithiques aux terra-rossa des cavernes ou aux latérites des régions chaudes.

Toutefois, l'accord n'est pas unanime *sur tous ces points* parmi les géologues et la discussion est même encore assez vive au sujet de quelques-uns. Quoi qu'il en soit, un fait domine ici, c'est la tendance de l'école moderne, d'établir que le phénomène sidérolithique, accident minéralogique, comme le pensait déjà d'Halloy, constant dans ses grandes

¹⁾ A. DE LAPPARENT: *Traité de géologie*, (v. Index général).

lignes, est cependant susceptible dans ses actions de détail, d'une variation presque infinie. Et en cela encore se manifestent les influences actualistes de nos temps. Mais nous aurons à y revenir dans la suite.

La dernière classification du Dr Greppin fut généralement admise. La plupart des auteurs, du moins dans les traités généraux, en raison de l'hétérogénéité des niveaux sidérolithiques, se contentèrent longtemps d'une attribution très générale et peu précise, comme on peut s'en rendre compte en compulsant les œuvres des géologues français, anglais ou allemands : de Lapparent ¹⁾, de Launay ²⁾, Geikie ³⁾, Dana ⁴⁾, Cotta ⁵⁾, Beck ⁶⁾, Credner ⁷⁾, Gumbel ⁸⁾, etc... ⁹⁾. Toutefois, les spécialistes ne s'arrêtent pas à ces considérations générales. Les découvertes de gisements fossilifères nouveaux se font cependant rares. Dans le Jura, on ne peut guère signaler que celles du prof. Schardt ¹⁰⁾, au Mont de Chamblon, en 1882. Tout récemment, j'ai signalé un petit gisement dans le Jura bernois, qui n'a toutefois donné que peu de chose. Dans le Lyonnais par contre, après Jordan, M. le prof. Depéret a eu la bonne fortune de faire quelques découvertes intéressantes et importantes.

Pendant très longtemps, la formation sidérolithique fut totalement inconnue dans toute la région alpine et ce n'est que récemment qu'un géologue, qui avait déjà beaucoup contribué à la connaissance du sidérolithique vaudois et qu'un affreux malheur vient d'enlever à la Suisse et à ses amis, le prof. E. Renevier ¹¹⁾ l'a signalé dans le massif des Dents du Midi. M. le prof. Lugeon en a indiqué un autre affleurement à la Gemmi. Le même auteur en avait également reconnu des « injections dans le Trias du Chablais (Trévenensaz) et à la Hornfluh.

¹⁾ à ¹⁰⁾ Consulter l'Index.

¹⁰⁾ Voir à la partie paléontologique et l'Index bibliographique.

¹¹⁾ E. RENEVIER ET DE LA HARPE : *Bulletin S. Vaudoise*, t. IV p. 232. 1854 et t. IV p. 261. 1855.

Dans son « Chronographe géologique » publié pour le Congrès de Zurich de 1894, Renevier admit la classification suivante :

<i>Tongrien</i> (Sestien, Ligurien)	Sidérolithique du Jura (Berne, Vaud).
<i>Lutétien</i>	Sidérolithique d'Egerkingen, des Alpes vaud.
<i>Rupélien</i> (Stampien)	Phosphorites.

Un de ses élèves, M. le prof. H. Schardt attribua d'abord le Sidérolithique vaudois, aux deux étages du *Bruxelien et du Sestien* ¹⁾. Plus tard, il rapprocha du Sidérolithique la *Mollasse rouge* (Oligocène sup.) du pied du Jura et soutint contre M. Rollier, la fameuse controverse des « poches hauteriviennes » ²⁾. Partisan des anciennes théories dans quelques-unes de ses publications, il paraît aujourd'hui avoir adopté celle du prof. Dieulafait, tout en lui apportant quelques modifications, du moins d'après ce que j'ai pu en juger par les entretiens que j'ai eus avec lui, en visitant le Sidérolithique vaudois.

M. le Dr L. Rollier ³⁾, le géologue par excellence du Jura bernois, place le Sidérolithique au niveau du *Ligurien* de Mayer (= *Ludien français*) ou du *Sannoisien* des auteurs français : soit à la hauteur de l'*Oligocène inférieur* du niveau de la Brie.

Il va peut-être un peu loin en groupant ainsi en un seul étage, tout le Sidérolithique du Jura, ce qui me paraît une généralisation forcée ; mais il y a plus encore, puisqu'il en arrive à réunir ceux de la Franche-Comté, de l'Alsace, du Grand-Duché de Bade et des environs de Bâle. Par contre, il en sépare le Nagelfluh jurassique pour le faire *Tongrien*.

Enfin, dans une récente publication ⁴⁾, mon savant compatriote a présenté une étude très intéressante, quoique

¹⁾ A. SCHARDT : *Notice géologique sur la Mollasse rouge...* p. 609. 1883.

²⁾ Voir plus loin et Index bibliographique : H. Schardt.

³⁾ L. ROLLIER : *Les terrains tertiaires du Jura bernois*, p. 43. 1892. (*le Tableau*) et II^e Supplément p. 63-72. 1898.

⁴⁾ L. ROLLIER : *Die Bohnerzformation*, 1905.

très générale du Sidérolithique, qui le place définitivement parmi ceux qui connaissent le mieux ce genre de questions.

M. Douvillé ¹⁾ professeur à l'Ecole des Mines de Paris, a également placé le Sidérolithique du Berry dans l'*Oligocène inférieur* et c'est aussi cette classification qu'a admise M. de Grossouvre ²⁾. Mais il est étrange de constater ici que le savant ingénieur de Bourges est un des rares géologues modernes qui défendent encore les vieilles idées de Brongniart à propos de l'origine des minerais en grains. Faudrait-il en conclure que ce retour vers des idées bien oubliées aujourd'hui, soit l'indice d'une orientation nouvelle et que l'Ecole actualiste moderne soit à la veille d'imiter celle qui marqua la fin du XVIII^e siècle ?

De leur côté, les paléontologistes ont poursuivi leurs recherches concurremment avec leurs confrères américains.

La faune des phosphorites est aujourd'hui bien connue grâce aux immortels travaux de Gervais, Filhol, Gaudry pour les mammifères, de Milne-Edwards, de Lydekker pour les oiseaux, de Burguignat pour les mollusques. Tout récemment, M. Thévenin du Muséum en a présenté une sorte de revision et son ouvrage, par l'index bibliographique qui l'accompagne, est le résumé le plus complet et le plus à jour de ces questions.

Quant à la faune du Sidérolithique proprement dit, déjà étudiée par Cuvier, Duvernoy, de Meyer, Rüttimeyer, Pictet, Jordan, etc..., elle vient d'être revisée par M. le Dr G.-H. Stehlin, de Bâle, qui a publié à ce sujet plusieurs mémoires, dans les Matériaux pour la paléontologie suisse. M. le prof. C. Depéret, de Lyon, de son côté, a étudié la faune du Lyonnais, dans les Archives du Muséum de Lyon.

Pour l'instant, il est suffisant de mentionner ces faits qui seront examinés en détail, dans la partie de ce travail consacrée à la Paléontologie ³⁾.

¹⁾ DOUVILLÉ : *B. S. G. Fr.* p. 92. 1875 et p. 392. 1881.

²⁾ DE GROSSOUVRE : *B. S. G. Fr.* 3^e XVI, p. 287. 1888.

³⁾ Consulter l'Index bibliographique.

Tel est, rapidement exposé l'historique de l'évolution des doctrines sidérolithiques. Je m'y suis longuement arrêté parce que jusqu'ici on ne s'en était pas suffisamment occupé et parce que, comme l'auteur de « La Science géologique » ¹⁾, j'estime que « la Science tombe trop tôt dans l'anonymat ».

En plaçant cet aperçu historique au début de cette étude, j'avais à cœur, de rendre, à tous ceux qui m'y ont précédé, un bien faible, mais légitime hommage.

Par ailleurs, un examen critique semblable peut seul donner une idée exacte et précise de la question étudiée. C'est seulement en suivant le chemin parcouru, en revoyant les obstacles surmontés, qu'il est possible d'aborder son sujet en vraie connaissance de cause. Et sans parler de l'intérêt qu'il y a à connaître par le détail, l'évolution d'une idée, ni de la formation critique qu'acquiert celui qui s'y livre, ni des facilités de travail qu'il met par suite à sa disposition, cette étude méritait, semble-t-il, d'être faite pour les conclusions qui en découlent.

Le progrès scientifique qu'on s'est plu à représenter comme une marche lente, mais régulière vers la vérité, apparaît ici au contraire, comme une série de sauts très espacés, brusques et saccadés. Il n'est pas l'œuvre d'un homme : il y a toujours le devancier qui ouvre la voie, mais qui, le plus souvent, n'est pas suivie immédiatement. En d'autres termes, le progrès scientifique exige deux facteurs : une intelligence clairvoyante qui se lance en avant, en plein inconnu, pour y jeter une sorte de jalon et la maturation intellectuelle de ceux qui doivent l'atteindre.

L'évolution progressive d'une idée subit cette double influence. De plus, elle reste souvent dépendante des doctrines dont elle s'inspire. Quant aux méthodes, il semble que seule l'observation puisse devenir réellement indépendante : l'interprétation est trop fonction du temps et des observateurs, son grand écueil étant toujours la généralisation forcée.

¹⁾ L. DE LAUNAY : *La Science géologique*, p. 10. 1905.

Mais encore ne faut-il pas oublier que les méthodes sont des outils ; leur valeur est passive. Elles ne valent souvent que par ceux qui les emploient.

Comme conclusion générale de cette première partie, je crois intéressant de rapprocher ici deux textes empruntés à deux auteurs bien connus et qui résument admirablement ces quelques considérations.

« La formation sidérolithique a duré depuis la fin de l'époque jurassique, dans la période infracrétacée, en diminuant d'intensité graduellement et d'étendue, jusque à l'époque mollassique, où elle paraît avoir fait le dernier effort pour disparaître ».

A. GRESSLY, 1841.

(*Observations géologiques* p. 289.)

« Ce n'est pas que le phénomène sidérolithique ou l'ensemble des processus qui ont engendré ce type spécial de terrain ne se soit produit à d'autres époques. Il est certain même qu'on en trouve des traces dès la fin du Crétacé, que plusieurs dépôts similaires sont, par leur faune terrestre, déjà Lutétien sup. ou Bartonien, enfin qu'il s'en est formé jusqu'au début du Miocène ».

A. DE LAPPRAENT, 1906.

(*Traité de Géologie* 5^e éd. p. 1559.)

« Les forces naturelles produisent des actions de détail qui varient à l'infini avec l'espace et avec le temps ».

(J. BRUNES: *Le travail des eaux courantes*, p. 154.)

II

TYPES SIDÉROLITHIQUES

L'orientation nouvelle donnée aux doctrines sidérolithiques par les hypothèses actualistes surtout, m'oblige à préciser quelques-unes des considérations précédemment émises dans l'exposé historique. Le phénomène sidérolithique, simple accident minéralogique avec l'école de d'Halloy, devient au contraire, avec celle de M. van den Bræck, absolument général et presque universel. Il est en tout cas, une des manifestations d'un phénomène universel: l'altération superficielle. De ce fait, des produits considérés jusqu'ici comme très différents sont aujourd'hui rapprochés et attribués à un même processus de formation: ce sont des Sidérolithiques différents.

Précédemment, j'ai caractérisé la formation sidérolithique par des minerais de fer en grains pisolithiques ou bohrnerz. Toutefois, ces minerais ne sont ni assez fréquents dans la généralité des gisements, ni assez communs à l'ensemble de leurs matériaux, pour devenir un criterum absolu, car outre que certains produits en sont totalement dépourvus, certains gisements, d'ailleurs considérables, n'en présentent pas de traces.

Malheureusement, en dehors des bohrnerz, il est difficile de trouver un autre élément pouvant caractériser la formation entière, car même au sens le plus restreint, le Sidérolithique proprement dit comprend:

a) Des composés ferrugineux: les bohrnerz ou fers en grains.

b) Des composés argileux, plus ou moins siliceux, plus ou moins alumineux ; les bols, les argiles grises, blanches, roses, etc...

c) Des sables siliceux, plus ou moins purs : les huppers.

d) Des calcaires.

e) Des produits remaniés : les poudingues, les brèches..

Cependant, il est possible, en prenant comme critérium, les caractères chimiques des roches, d'établir une classification générale assez naturelle des différents produits attribués aux phénomènes sidérolithiques, ainsi que le montre le tableau suivant :

MATÉRIAUX

<i>α) Peu phosphatés</i>		<i>β) Phosphatés</i>	
Pauvres en Al_2O_3	Riches en Al_2O_3		
A. Produits de décalcification.	C. Bauxites	E. Phosphorites	F. Phosphates
B. Sidérolithique propr. dit.	D. Latérites		

En d'autres termes, cette classification admet deux grands groupes : les produits peu phosphorés et les produits phosphorés. Le premier groupe se subdivise à son tour, suivant la richesse en alumine des différents matériaux et nous arrivons ainsi à établir une véritable échelle. Malheureusement, il est encore bien difficile de pousser bien loin ces études et je dois me contenter de dire un mot de chacun des groupes obtenus, en dernière distinction.

A. Produits de décalcification.

Ce premier groupe comprend tous les produits sidérolithiques qui ne trouvent pas de places dans les autres. Il manque totalement de cohésion ; ses matériaux très hétérogènes, n'ont de commun que leur origine, ou surtout leur processus de formation : tous résultent de la dissolution et du métamorphisme hydro-chimique des roches, surtout des cal-

caires. Ils sont tous des produits d'altération superficielle plus ou moins caractérisés.

Dans l'état actuel de nos connaissances, ce groupe s'impose et bien que tous les produits qui le constituent soient les résultats de décalcification ou d'altération plus ou moins accentuées, leur formation indique cependant un travail moins complet qui permet de les séparer de ceux qui sont en quelque sorte mieux achevés. Pour ce motif, je propose de les distinguer sous cette appellation générale de *Sidérolithiques rudimentaires*.

Parmi ceux-ci se placent surtout :

- 1° Certains Diluviums rouges, plus rarement gris.
- 2° Les remplissages décalcifiés des Puits naturels et autres formations analogues.
- 3° La plupart des Terra rossa (de Carniole), les Terres jaunes des cavernes.
- 4° L'Argile à silex de Normandie... etc.

Tous portent la trace d'une certaine altération surtout chimique, moins généralement mécanique. Ils ont perdu leurs sels de chaux au moins en partie, quand ce n'est pas totalement. Par contre, la teneur en sels de fer indique une oxydation plus forte. Mais encore le degré d'oxydation est-il variable, non seulement d'une formation à l'autre, mais même dans chacune d'elles ; de là, ces colorations si variées des roches.

La composition chimique des matériaux est naturellement très inconstante, tant à cause de leur degré d'altération, qu'en raison de leur diversité d'origine. Beaucoup proviennent des calcaires ; l'Argile à silex résulte surtout de la décalcification de la Craie.

Au point de vue purement morphologique, les remplissages des puits naturels présentent une grande analogie avec ceux des poches sidérolithiques. L'allure des puits ou des poches est une affaire de corrosion s'effectuant sur des roches de résistance variable. Il va de soi que les eaux d'infiltration travaillent différemment sur un calcaire fendillé

et fissuré ou sur un calcaire homogène et compact. Les deux facteurs essentiels de ce travail sont donc : la structure de la roche et sa solubilité. L'observation des puits naturels du bassin de Paris et des poches ou crevasses sidérolithiques du Jura suisse est, sur ce point, très démonstrative.

C'est pour ces motifs, que je considère la morphologie des puits, des poches, des crevasses, comme un fait géologico-géographique, ou si l'on veut, un fait géologique, géographiquement exprimé. Sans doute, il y a des types très distincts, caractérisant nettement une formation, par exemple les phosphatières ; mais aussi, à côté, il y a toute la série des formes intermédiaires établissant, en quelque sorte, le passage réciproque des types. C'est ainsi que certains remplissages phosphatés (à nodules), que les altérations profondes des calcaires, que les ouvriers neuchâtelois appellent « chancres », et que les puits naturels, présentent dans leur ensemble une analogie véritablement frappante.

Il est d'ailleurs intéressant de remarquer au sujet de ces puits naturels qui n'ont été rapprochés du Sidérolithique que tout récemment, que ceux qui les ont étudiés ont suivi à peu près le même chemin que les géologues qui se sont occupés du Sidérolithique. Buckland ¹⁾ expliquait leur creusement par des eaux acides d'origine volcanique ; Leblanc ²⁾, allant plus loin que Melleville, en faisait les cratères d'éjection des sables rouges, des limons, etc..., et ce n'est que plus tard que Lyell, Strickland, de la Bèche les attribuèrent au travail des eaux de surface. Enfin, MM. van den Brœck ³⁾ et Stanislas Meunier ⁴⁾ ont montré leur parenté avec les

¹⁾ BUCKLAND : *Report of 9th Meeting British Assoc.* p. 56 — 1839.

²⁾ LEBLANC : *B. S. G. Fr.* p. 360, XIII, 1842 et MELLEVILLE : *B. S. G. F.* p. 184. 1840.

³⁾ E. VAN DEN BRÖECK : *Mémoire sur les phénomènes d'altération des dépôts superficiels*, 1885.

⁴⁾ ST. MEUNIER : *Description géologique des environs de Paris*, p. 430. 1875.

formations d'altération superficielle et les produits sidérolithiques.

Très fréquentes aux environs de Paris, (Ivry, Montrouge, Vaugirard, Bois de Boulogne, Mont Valentin, Auvers, etc...), ces formations sont également connues en Angleterre (Norwich) où Lyell les a signalées. Il semble d'ailleurs qu'elles soient plus fréquentes qu'on ne le pense d'ordinaire. Des recherches complémentaires fourniront sans doute des indications plus précises.

Quant à la composition de leurs remplissages, elle est assez variable ; mais cependant elle est en général de nature siliceuse et très rubéfiée.

Les formations qui composent ce groupe ne faisant pas l'objet de ce travail, je me contente de ces quelques indications, renvoyant à une étude plus complète, actuellement en préparation. S'il en a été fait mention ici, c'était afin de mieux mettre en relief, l'importance et la signification des phénomènes sidérolithiques, expression du travail d'altération des eaux superficielles.

B. Sidérolithique proprement dit.

Le Sidérolithique proprement dit comprend les formations qui font surtout l'objet de ce travail. Il a été défini précédemment déjà et caractérisé par les minerais de fer pisolithiques. Bien que constitué d'éléments assez variés, il est cependant plus homogène que les précédents : toutefois, il est intéressant de remarquer la tendance que manifestent certains éléments, à s'isoler de l'ensemble pour former des groupes à part, comme par exemple les sables siliceux. Ce même fait s'affirme encore davantage pour les phosphorites. Aussi la pétrographie de ce groupe est-elle plus caractérisée que celle du groupe précédent ; elle comprend essentiellement : des bols ; des formations ferrugineuses diverses, surtout des bohmerz ; des argiles réfractaires ou plastiques ; des sables, des calcaires et des poudingues. Soit en résumé : des formations argilo-siliceuses, des formations ferrugineuses et

des formations calcaires. Sans doute, ces produits passent de l'un à l'autre par des stades intermédiaires; mais les types sont souvent très distincts. Indépendamment de ces différenciations, la composition pétrographique varie encore beaucoup, à tel point, qu'il y a presque autant de Sidérolithiques que de gisements différents, car tous les matériaux sidérolithiques résultent des actions combinées de la décalcification et de la dissolution chimiques. Et comme ces phénomènes se sont manifestés avec des intensités très variables et sur des roches très différentes, leurs résultats sont nécessairement très divers.

Ce type, assez bien caractérisé, est moins général que le précédent: il est plus localisé. Très développé en certaines régions qui deviennent en quelque sorte des bassins, il manque totalement dans d'autres. Toutefois, l'isolement de ces bassins n'est qu'apparent et leur liaison est à reconstituer par l'examen des transformations du relief.

Toutes ces questions étant reprises très longuement plus loin, il me paraît inutile d'insister davantage sur ce sujet.

Nous allons examiner les autres formes de Sidérolithiques, en suivant la classification précédemment admise.

C-D. Bauxites et Latérites.

Sous ces deux appellations très générales, se groupent un grand nombre de formations assez mal définies souvent, qui paraissent voisines des produits sidérolithiques et qui toutes sont relativement riches en hydrate d'alumine. Leur différenciation semble une conséquence de ce fait que j'ai évoqué déjà, la tendance à l'isolement et à la concentration de certains éléments. Je les considère comme des formes locales du phénomène sidérolithique, dues à des influences également locales, particulièrement les conditions climatiques, météoriques et la nature géologique du sol. D'ailleurs, leur individualisation est souvent plus géographique que pétrographique, car en fait, les bauxites, les wochenites, les la-

térites sont des mélanges à proportions variables, d'alumine hydratée de sesquioxyde de fer et de silice, passant de l'un à l'autre, par une série de stades intermédiaires.

Les bauxites ou wochenites doivent leurs noms aux premières localités où elles ont été trouvées : Les Baux, dans le département des Bouches du Rhône, (Provence) et Wochein, en Carinthie. On les a signalées depuis, dans un grand nombre de régions, principalement :

En France : dans les départements des Bouches du Rhône (Les Baux, Allauch), du Var (Mazanges), du Gard, de l'Ariège, de l'Hérault (Valle-Verac), de la Charente. En général, les gisements sont recouverts par les dépôts albiens et par suite la formation des bauxites peut être reportée vers l'Aptien.

En Carinthie, les wochenites sont entre les calcaires triasiques et jurassiques et en Styrie, près de Prichova, elles reposent sur les calcaires mézozoïques. Dans l'Apennin Central, les bauxites sont intercalées dans la Craie, tandis que à Antrim (Irlande) et dans la Hesse-Nassau, elles sont en contact avec le basalte. Enfin on les connaît également dans la Nouvelle Galles du Sud (Australie), à Winyello (S. de Sydney), dans les districts d'Inverell et d'Emmaville plus au N.; dans l'Amérique du Nord, à Alabama, à Arkansas, dans la Géorgie et la Caroline du Nord ; au Sénégal, etc.; etc.

Au point de vue pétrographique, les bauxites sont très variables. Ce sont des roches argilo-siliceuses, ferrugineuses, pulvérulentes ou savonneuses, facilement pisolithiques, de colorations variant du rouge-brun au blanc. Leur densité est à peu près 2,55. Elles sont tendres, peu fusibles et très réfractaires, mais non plastiques. Le Prof. Bischof les considère très justement comme une forme « d'argile inversée dans ses éléments essentiels ». Hoffmann en fait un terme de passage entre le diaspore et la limonite.

La coloration est surtout due aux sels de fer. La composition moyenne des bauxites rouges de Provence est : 60 à 68 % d'alumine pour 12 à 16 % de fer, tandis que pour les blanches elle n'est que de 1 à 3 % d'oxyde de fer pour 56 à 75 % d'alumine.

C'est pour ce motif, qu'assez souvent on ne les sépare pas des hydrates d'alumine (genre aluminosydes).

Quelques analyses compléteront ces considérations ¹⁾.

<i>Bauxites françaises.</i> (Villeveyrac)	<i>Wochénite de</i> <i>Carinthie.</i> (Wochen)	<i>Bauxites</i> <i>anglaises.</i>
Al ₂ O ₃ 43,20—78,10 %	51,4—67,6 %	45—54 %
FeO+Fe ₂ O ₃ 1,02—7,25	0,7—19,3	1,75—16
Si O ₂ 5,78—34,40	5,9—14,4	8—16
Ti O ₂ 2) 2)	traces	4—7
Ca O	traces	0,15—0,8
H ₂ O 15,10—15,15	12,2—23,1	23—30

Presque toutes les bauxites renferment des traces tout au moins, d'acides titanique, vanadique et phosphorique. Les bauxites anglaises et américaines sont surtout riches en acide titanique: jusqu'à 7 % pour la bauxite d'Irlande et 4,5 pour celle d'Amérique. Deville donne 0,0009 pour l'acide vanadique des bauxites de Provence et L. Hôte indique 0,5 à 0,31 % pour les américaines. Ce dernier auteur y signale en outre des traces d'acide sulfurique. Un autre fait intéressant à mentionner encore, c'est la pauvreté en chaux des bauxites.

Les anciens géologues, Coquand surtout, attribuaient aux bauxites une origine éruptive. Le prof. Dieulafait de Marseille, le premier, les a rapprochées des phosphorites et des minerais de fer en grains et les a considérées comme « la partie ferro-alumineuse des roches granitiques » décomposées à la surface de la terre. MM. C. Bischof, St. Meunier et E. van den Broeck ont précisé ces considérations.

¹⁾ Ces analyses sont fournies par COLLOT: *Age des Bauxites du S-E. de la France*, p. 331. 1886-87 et C. BISCHOF: *Les argiles réfractaires*, p. 375. 1906.

²⁾ L'acide silicique a été calculé avec la silice: Sa teneur varie de 2 à 4 %. Dans la plupart des anciennes analyses, il est nécessaire de retrancher des nombres indiquant la silice, 1 ou 2 1/2 pour l'acide titanique.

A. CARNOT: *Sur la composition des Phosphates*, p. 137. 1896.

Les bauxites d'Irlande sont aujourd'hui envisagées comme des produits d'altération, de décomposition sur place des basaltes. Il y a donc là un phénomène plus complexe qu'une simple décalcification. Bien que combattues par certains géologues, ces hypothèses paraissent très rationnelles et je ne puis qu'y souscrire.

A plus d'un égard, les latérites pourraient être considérées comme une variété très voisine des bauxites. Ce sont des roches terreuses, rougeâtres, celluleuses, empâtant des concrétions ferrugineuses solides, qui deviennent pierreuses à l'air et se recouvrent d'une couche vitreuse. Leur composition est très variable, mais rappelle beaucoup celle des bauxites (50 % d'aluminie, 20 % d'oxyde de fer, 26 % d'eau, 4 % de silice).

Elles ne sont pas moins fréquentes que les bauxites et comme celles-ci, elles sont très localisées. Elles se forment encore actuellement, mais exclusivement dans la zone tropicale: Hindoustan, Archipel de la Sonde, Ceylan, îles Seychelles, Amérique du Sud, etc... Leur formation paraît très liée à l'action des agents météoriques: climat désertique, vent tropical de côte, chaud et humide, etc... La nature géologique des roches semble moins importante: aux îles Seychelles, la latérite résulte des roches cristallines altérées, tandis que sur la presqu'île du Dekkân, elle provient des coulées basaltiques.

L'acide carbonique des eaux d'infiltration paraît, même pour le cas des silicates, jouer le rôle principal, par formation d'un carbonate d'alumine instable qui passe facilement à l'hydrate d'alumine.

E-F. Phosphorites et phosphates.

Le phosphore est un des éléments constants des produits sidérolithiques, à l'état d'acide ou de sel, mais il est rarement en assez forte proportion pour caractériser les roches. Les phosphorites et les phosphates sont en quelque sorte une exception parmi les formations sidérolithiques générales.

Les phosphorites ont été découvertes en 1865, par Pommarède, près de Caylus (Tarn-et-Garonne). Elles sont assez fréquentes sur tout le plateau des Causses, particulièrement dans les départements du Lot, du Tarn-et-Garonne et de l'Aveyron. On en a signalé aussi dans le Gard, l'Hérault et jusque dans les Pyrénées. L'exploration géologique de l'Oranais algérien en a fait reconnaître encore dans le Djebel Toumai, le Djebel Tadjera, aux environs de Tlemcen et dans la vallée du Cheliff.

Elles se présentent en dépôts concrétionnés ou mameionnés sous forme de masses, de rognons, de veinules ou de nodules, disséminés dans une argile rouge, analogue au bolus sidérolithique ou à la terre de décalcification du Causse et qui isole les phosphates des calcaires encaissants: c'est la terre phosphatée. La phosphorite même est une roche tantôt compacte, à structure zonée, rarement radiée, à cassure parfois esquilleuse, d'aspect porcelainé; tantôt au contraire, nettement fibreuse, stalagtitiforme et très diversement concrétionnée, à cassure crayeuse, à texture grenue ou caverneuse. La coloration est très variable: uniforme ou bariolée, panachée, zonée, blanche, grise, jaune, rouge, verdâtre, bleue, brune, noire, etc.

Par leur composition chimique et minéralogique, ce sont des phosphates de chaux du groupe de l'Apatite normale $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8 + \frac{1}{3} \text{CaFl}_2$, riches en carbonate de chaux, pauvres en fluor et toujours amorphes.

La proportion d'acide phosphorique varie entre 26 et 38 %, soit 56 à 83 % de phosphate tribasique pour les phosphorites du Quercy, du Gard et de l'Hérault et 18 à 40 %, pour celles de l'Oranais.

La teneur en fluor des phosphorites est toujours moindre que celles des apatites. M. A. Carnot a donné sur ce point des indications très précises, je ne puis que renvoyer à son excellent mémoire, auquel j'emprunte les analyses suivantes :

	Phosphorites de Bozouls (Aveyron)		Mont. de Cette (Hérault)
	I	II	III
P ₂ O ₅	16,04	18,08	32,28
CO ₂	18,66	17,10	9,62
FlCl	Traces	Traces	Traces
CaO	42,67	43,01	50,07
MgO	Traces	Traces	—
Al ₂ O ₃ ; Fl ₂ O ₃	6,45	6,03	0,85
Insoluble	7,40	7,33	0,51
Perte à 130°	2,14	1,93	0,98
Perte au-dessus	6,69	6,41	5,78
	100,05	99,89	100,09
Ca ₃ P ₂ O ₈	34,90	39,22	69,79
Al ₂ P ₂ O ₈	0,12	0,22	0,64
CaCo ₃	42,41	38,86	21,86
Fe ₂ O ₃	6,39	5,92	0,53
Résidu	7,40	7,33	0,51
H ² O et matière organique	8,83	8,34	6,76
	100,05	99,89	100,09

L'iode et le brome ont été reconnus dans plusieurs phosphorites (Villeneuve, Druilhac). M. A. Gautier y a encore signalé du gypse, des silicates, du chlorure de calcium, des traces d'arsenic, du plomb, du cuivre, du zinc, du manganèse ; le nickel et le cobalt y sont fréquents. Les oxydes de fer sont surtout abondants, même à l'état pisolithique, dans la terre phosphatée. Il y aurait lieu d'y rechercher le titane, le vanadium et le chrome.

La composition de la terre phosphatée est différente ; elle est même souvent très pauvre en acide phosphorique : 1 gr. 67 " „.

Jusqu'ici les phosphorites n'ont jamais été rencontrées en dépôts réguliers ou très étendus : elles forment toujours des remplissages de crevasses ou de puits irréguliers, mais quelquefois très grands. Une phosphatière de St-Jean-de-

Laurs mesure plus de 100 m. de profondeur, une autre à Raynal a 40 m. et le gisement de Larnagol n'a pas moins de 500 m. La forme des phosphatières est des plus variables : elle rappelle celle des grottes, des cavernes, des avens, des gouffres, des tindouls, des plateaux calcaires.

Le remplissage lui-même est formé par une argile rouge rappelant les bols sidérolithiques à pisolithes de fer et qui entoure la phosphorite, la séparant des calcaires encaissants. Quelquefois, cette argile contient des galets de quartz assez nombreux ; à Prajoux, par exemple, Daubrée la considérait comme « un poudingue à ciment phosphaté ». Ce poudingue passe fréquemment à la brèche. Mais alors, les galets siliceux sont remplacés par des fragments anguleux du calcaire encaissant. Par des infiltrations calcaires, la roche devient dans ce cas, très dure. C'est l'analogue des poudingues, des gompholithes du Jura, des *ketterz* de la Souabe.

Les phosphatières du Quercy surtout ont fourni une faune très nombreuse et assez connue aujourd'hui, grâce aux travaux de Gervais et Gaudry pour les mammifères, de Milne-Edwards et Lydekker pour les oiseaux, de Bourguignat pour les mollusques. M. Thévenin en a publié une revision : son travail est tout ce qu'il y a de plus complet et de plus récent sur le sujet.

L'âge des phosphorites est évidemment éocène, compris entre le Lutétien sup. et l'Aquitanién. Filhol et Bourguignat ont bien signalé dans certains remplissages quelques *Helix Ramondi*, mais d'après M. Thévenin, on ne les a jamais retrouvés. Mais on peut admettre comme certains quelques remplissages bartoniens. Les autres appartiennent au Ludien, au Sannoisien et au Stampien. Il y a donc un mélange des faunes comprises entre l'Eocène sup. et l'Oligocène. Celles du Miocène et du Pliocène n'ont pas été rencontrées. Par contre, quelques espèces quaternaires ont été découvertes dans la partie supérieure de quelques gisements : mandibules de *Boridés*, à Concols, ossements d'*Hyaena spelea*, d'*Ursus speleus*, etc. ; de *Felis spelea* mêlés à des restes de sangliers à Larnagol.

La distribution des phosphathières du Quercy ne semble soumise à aucune loi. M. Thévenin n'admet pas comme M. Péron, que leur extension soit limitée par la courbe 350 des terrains tertiaires. Elle ne paraît pas non plus liée aux phénomènes tectoniques, failles, anticlinaux ou synclinaux de la région. Par contre toutes les phosphatières et M. Thévenin en indique 85 sur sa carte, affleurent dans les terrains calcaires ; mais aussi bien dans le Bajocien ou le Bathonien (Villeneuve, Aveyron) que dans le calcaire sublithographique des Causses ou même dans le Lias inférieur (Villefranche). Dans le Gard, c'est tantôt l'Oxfordien (Quissac) tantôt le Crétacé : Ugonien, Néocomien (Uzès), qui servent de substratum.

Je rapproche des phosphorites, les remplissages à nodules de chaux phosphatée du Jura neuchâtelois. Ces remplissages assez rares sont évidemment une forme locale de Sidérolithique. Toutefois, je crois devoir les séparer du Sidérolithique proprement dit.

Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer le mode de formation des phosphorites : je ne mentionnerai que les principales :

A. Hypothèses anciennes. Toutes les hypothèses de ce groupe ont pour caractère commun d'attribuer aux phosphorites une origine interne. L'acide phosphorique aurait été enlevé, suivant les uns (de Mercey), aux phosphures métalliques profonds, suivant les autres (Renaud, Cornet, Strahan), aux dépôts phosphatés marins dus à l'accumulation d'organismes. Dans un cas comme dans l'autre, la dissolution se serait faite par des eaux thermales et la sédimentation des phosphates dans des crevasses préexistantes serait ainsi *filonienne*. Ces théories n'ont plus que de rares partisans (M. de Grossouvre).

B. Hypothèses modernes. Ce groupe se divise en deux sous-groupes, comprenant l'un, les hypothèses qui attribuent aux phosphorites une origine animale : l'autre, celles qui en font des produits d'altérations superficielles.

D'après les premières hypothèses, les phosphates de chaux seraient dus à la décomposition des matières organiques, particulièrement des cadavres d'animaux accumulés sur certains points. Les nombreux ossements trouvés dans les phosphatières paraissent autoriser cette interprétation. (Vasseur, Péron, etc.).

Le prof. A. Gautier a fait sienne cette hypothèse en la précisant : sous l'influence de ferments oxydants, les matières organiques se transforment en phosphates ammoniacaux, qui passent aux phosphates bi, tricalcique ou aluminopotassique, au contact des argiles et des calcaires. Les nitrates qui se forment en même temps sont enlevés par les eaux d'infiltration.

Tout récemment M. W. Collet a donné une autre forme à cette interprétation, en faisant intervenir l'ammoniaque produit par la décomposition de la matière organique, sur le phosphate de chaux en solution, pour le transformer en phosphate d'ammonium, lequel agit alors sur le carbonate de chaux des coquilles calcaires. L'acide phosphorique remplace ainsi l'acide carbonique, par pseudomorphose. Le phosphate d'ammonium en solution agit non seulement sur les calcaires, mais aussi sur les silicates.

Les hypothèses du second groupe comprennent surtout celles de MM. A. Carnot, Dieulafait et E. van den Brœck.

M. Carnot attribue une large part au ruissellement et aux eaux d'infiltration ; tandis que Dieulafait donnait une signification toute particulière aux phénomènes de corrosion ; par malheur pour son hypothèse, il la compliquait par des évaporations lagunaires. Mais il expliquait parfaitement le creusement des puits et la concentration des phosphates. M. van den Brœck, met en relief les phénomènes de dissolution des roches calcaires par les eaux météoriques surtout.

En résumé donc, les hypothèses modernes ont pour caractère dominant et commun d'attribuer aux phosphorites une origine externe, superficielle : elles récusent toute provenance interne et ainsi, les phosphorites deviennent des pro-

duits d'altération superficielle et continentale: des produits sidérolithiques ¹⁾.

De plus, ces quelques considérations établissent la généralité des actions sidérolithiques, qui prennent définitivement place parmi les agents importants et réguliers de l'érosion continentale.

La différenciation pétrographique et minéralogique des formations devient la résultante du jeu des facteurs météoriques et géologiques et trouve une explication rationnelle dans la variabilité de ces facteurs, eux-mêmes fonction de leur milieu géographique.

Enfin, cette double différenciation, qui aboutit à une série de produits bien distincts, passant régulièrement de l'un à l'autre, tout en gardant un cachet commun qui permet leur rapprochement, s'exprime, dans les cas particuliers, comme dans l'ensemble des formations, par la tendance à l'isolement de certains éléments qui donnent aux dépôts cette apparence de sédimentation fractionnée, qui a fourni les critères de la classification précédemment exposée.

Les études qui suivent sont exclusivement consacrées aux formations *sidérolithiques proprement dites*, ordinairement caractérisées par leurs minerais de fer en grains ou bohnerz. Nous aurons à examiner successivement leur distribution géographique, les caractères pétrographiques et chimiques des matériaux, la composition stratigraphique des dépôts et enfin les restes organisés, animaux ou végétaux qui y ont été trouvés.

¹⁾ Une bibliographie très complète sur les phosphorites a été publiée par M. THÉVENIN: *Etude géologique de la Bordure S.-W. du Plateau Central*, 1903. Je ne puis mieux faire que d'y renvoyer. Consulter également l'Index.

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE

Les premiers géologues qui étudièrent les minerais de fer en grains, pisiformes ou pisolithiques, remarquèrent tôt déjà, leur accumulation et leur concentration en des régions nettement délimitées et formant en quelque sorte des bassins, souvent à la fois géologiques et géographiques. Les doctrines alors dominantes, qui attribuaient les matériaux sidérolithiques à des causes éruptives et leur reconnaissaient une provenance interne, pouvaient justifier, du moins de prime abord, ces constatations, et cependant, c'est une des gloires de Gressly, l'un des plus chauds partisans du catastrophisme, d'avoir admis, le premier, la continuité géographique des formations sidérolithiques, conséquence rationnelle du rapprochement des bassins suisses, français, allemands et russes même. Toutefois, le géologue soleurois semble vouloir affirmer avant tout, la généralité du phénomène éruptif, puisqu'il reconnaît l'existence des bassins.

Quoi qu'il en soit, pour Gressly déjà, l'aire de distribution des produits sidérolithiques comprenait une bonne partie de l'Europe centrale et de la Russie. Depuis lors, deux faits ont surtout contribué à l'agrandir encore : c'est d'abord la découverte de gisements et surtout de bassins nouveaux, puis, la connaissance toujours plus approfondie du phénomène lui-même, ce qui a permis, durant ces dernières années, de le reconnaître sous tous ses aspects et faciès.

Les formations sidérolithiques sont aujourd'hui bien connues et bien étudiées tant en France qu'en Allemagne.

¹⁾ A. GRESSLY. *Observations géologiques*, p. 253. 1838.

En France, elles forment une bordure presque continue autour du Plateau Central, rattachant les phosphorites du Quercy, aux gisements de fer du Berry; on les a signalées aussi dans la vallée du Rhône, jusque vers Valence (où elles se relieraient aux bauxites...) et on les rencontre également bien développées dans l'Est (Bourgogne, Franche-Comté). Les formations de l'Allemagne du Sud presque aussi étendues et bien connues par les gisements fameux autrefois de Candern, Frohnstetten et Eselsberg, se continuent à travers l'Autriche, jusqu'en Russie. Les collections du Muséum et de l'École des Mines de Paris possèdent des échantillons de bols et de fers en grains, très comparables à ceux de notre Sidérolithique, d'un peu de tous les pays: Asie, Afrique, Océanie, Amérique du Sud. Mais je ne saurais m'y arrêter ici plus longtemps, ne voulant m'occuper que du Sidérolithique suisse.

L'examen même rapide d'une carte géologique générale de la Suisse permet d'y reconnaître, de suite et a priori, deux grands bassins sidérolithiques, à la condition cependant, d'admettre pour cette expression, la signification reconnue autrefois par les anciens géologues, par Gressly en particulier. C'est alors au N., le bassin jurassien, le plus étendu et le plus intéressant, puis au S., le bassin alpin. Le premier comprend toute la région couverte par les Monts Jura, depuis leur naissance dans le canton de Zurich, jusqu'au delà du Salève, dans le Dauphiné, alors que le second n'embrasse qu'une partie des Alpes valaisannes et vaudoises, auxquelles cependant il faut rattacher celles du Chablais. Mais tandis que le premier bassin, quoique très morcelé par de multiples divisions, présente cependant une certaine homogénéité, le second n'a aucune unité d'ensemble: c'est un groupement de rares affleurements presque tous isolés et sporadiques, sans liaison entre eux.

Du fait de l'existence des formations sidérolithiques dans les Alpes et le Jura, on serait tenté d'en conclure une liaison entre elles, par le Plateau, et cependant jusqu'ici cette conclusion a été généralement infirmée par l'observation. En effet, exception faite en faveur de quelques gisements

qui se rattachent facilement à ceux du Jura, on ne connaît pas d'affleurement sidérolithique, bien marqué, sur tout le Plateau. Toutefois, c'est là une constatation établie sur une base négative, car si jusqu'ici aucun affleurement sidérolithique n'y a été signalé, on ne saurait cependant affirmer, qu'il en sera toujours ainsi. D'ailleurs, même en admettant une nappe sidérolithique sous les grès mollassiques, il est facile, pour qui connaît l'irrégularité d'allure et la sporadicité de cette formation, d'expliquer l'absence de ses pointements. Et quand on considère le développement énorme et régulier des gisements sidérolithiques, qui jalonnent presque sans discontinuité toute la bordure méridionale du Jura, depuis l'Argovie jusque vers le lac de Bienne, on a de la peine véritablement à récuser toute continuation en profondeur. Certains géologues admettent d'ailleurs cette continuation en profondeur et la font figurer sur leurs profils, comme par exemple, MM. Rollier et Schmidt. Quelques gisements peu éloignés du Jura la font également apparaître. Toutefois, il me semble difficile de lui reconnaître beaucoup de régularité et il me répugne autant d'admettre une nappe régulière et continue, que d'en repousser toute trace. En effet, la possibilité de chacune de ces suppositions se trouve exclue par l'observation : si la nappe était régulière on l'aurait probablement rencontrée et d'autre part, tout porte à croire à une continuation plus ou moins interrompue, très sporadique et très locale, formant liaison *minéralogique* et *géographique*, entre les bassins alpins et jurassiens. Et c'est bien ainsi qu'apparaissent les gisements sidérolithiques signalés par Gilliéron¹⁾, au pied des Préalpes fribourgeoises. Sur quelques-uns des calcaires qui affleurent en pointements, au milieu du remplissage glaciaire et fluvial de cette étrange plaine de Bulle, se voient des placages de bols ferrugineux, en même temps que des altérations très nettes des roches. Mais même alors, ces gisements ne sont que sporadiques et il ne semble pas possible de les considérer, comme se rattachant à des phénomènes généraux.

¹⁾ GILLÉRON : *Description géologique*, p. 143. 1885.

La formation sidérolithique dans le Jura.

Toute la chaîne jurassienne, depuis Regensberg (Zurich), avec la Lägern, jusqu'à l'Echaillon, près de Voiron (Isère), soit une immense surface en croissant, de convexité orientée N.-W., de 420 km. de longueur à son plus grand axe et de près de 70 de largeur maximale, présente, d'une façon générale tout au moins, quelques traces de la formation sidérolithique, disséminée d'une extrémité à l'autre. Ces traces sont très irrégulièrement réparties : très abondantes sur certains points, où leur concentration peut former des dépôts énormes, elles peuvent devenir très rares et même manquer totalement en d'autres. De telle sorte, qu'il est difficile, pour ne pas dire impossible, d'envisager le Sidérolithique jurassien, comme formant un bassin : c'est plutôt dans son ensemble, une agrégation très complexe de bassins secondaires, qui eux alors, sont plus homogènes et plus continus, pour peu que l'on veuille faire abstraction des discontinuités actuelles apparentes, résultant de la transformation de la topographie superficielle.

Pour ces motifs, l'expression de *bassin sidérolithique* pourrait paraître, defectueuse tout au moins. Et cependant, le Sidérolithique jurassien suisse, quel que soit son morcellement actuel, ne fut-ce que par sa situation par rapport à ceux qui l'entourent, spécialement au N.-E. et à l'W., forme bien, au point de vue qui nous occupe, un véritable bassin géographique, une sorte de district sidérolithique.

C'est ce district que nous allons étudier en le parcourant de l'Est à l'Ouest, soit en commençant par le Jura oriental, auquel se relie le Randen, la Méséta rhénane (Tafeljura), régions qui bien que jurassiques, se rattachent cependant plutôt aux systèmes des Vosges et de la Forêt-Noire.

I. Canton de Schaffhouse.

Les formations sidérolithiques de ce canton sont abondantes et fréquentes. Les bols à colorations variables, sou-

vent pyriteux, stériles ou superposés à la couche à minéral en grains, à pisolithes libres et isolées ou agglutinées en masse compacte, atteignent parfois une grande épaisseur et une étendue considérable. Des sables blancs, plus ou moins siliceux, les accompagnent souvent.

Jusqu'en 1850, le Klettgau à l'W. et le Reiath à l'E. furent le siège d'une exploitation sidérurgique importante, aujourd'hui disparue, remplacée, en partie du moins, par l'exploitation plus régulière et plus intense des argiles sidérolithiques ou des sables, très active aux environs de Stetten, de Lohn et de Butterhardt surtout. Ces produits sont d'ailleurs très communs sur une bonne partie du Randen. Leur âge n'est pas rigoureusement fixé : aucune découverte importante d'ossements, n'y a été signalée jusqu'ici, du moins à ma connaissance. Le Dr Schalch ¹⁾ indique bien des dents de squales et des fossiles jurassiques dans certains bols, mais il ne semble pas que ce soient là des matériaux suffisants. Les seules données précises (?) sont fournies par la stratigraphie générale : les dépôts sidérolithiques, réguliers surtout, comme ceux du Randen, dans les environs de Lohn, sont intercalés ordinairement entre le Malm sup. (Kimmerigien sup., — Plattenkalk à *Pentacrinites* de Möesch), auquel ils sont très étroitement liés et la Mollasse marine. Assez souvent cependant, les gisements sont superficiels et découverts, même sur la région des plateaux.

Par leur allure, par la composition minéralogique de leurs matériaux, les dépôts sidérolithiques du canton de Schaffhouse rappellent ceux du Jura suisse, mais pas assez fidèlement cependant pour qu'il soit possible de les rattacher à ces derniers. Leur caractère local et régional les rapproche

¹⁾ Dr SCHALCH : *Das Gebiet nördlich von Rhein*, p. 31. 1883.

Cet auteur indique comme fossiles recueillis dans les bols sidérolithiques :

Rhynchonella inconstans Sow. *Rhynch. triloboïdes* Quen...
Terebratula suprajurensis Thurm., *T. orbis* Quen.,
Pecten textorius Quen...

bien plus de ceux de l'Allemagne du Sud, du Grand-Duché de Bade, du Wurtemberg, de la Bavière. Le faciès souabe, par lui-même ou comme conséquence de sa manifestation antérieure sur la région, fait du Sidérolithique de la Rauhe Alp, comme de celui du Randen, un bassin dépendant de ceux du N. et non du S. ou du S.-W. Deux faits : *l'intensité de la dénudation pendant la période crétacique et la première époque tertiaire, puis son orientation, de la Forêt-Noire vers l'E. et le S.-E.*, suffisent pour éclaircir, quoique sans le résoudre totalement, le problème sidérolithique du canton de Schaffhouse.

Les phénomènes de remaniement ont d'ailleurs profondément modifié l'allure première de la distribution des produits sidérolithiques, dont une bonne partie se retrouve aujourd'hui dans les poudingues de la région, particulièrement dans le calcaire grossier du Randen (Randengrobkalk).

II. Canton de Zurich.

A part quelques rares lambeaux très disséminés appartenant à la chaîne de la Lägern, aux environs de Dielsdorf et au-delà de Regensberg, dans la direction de Baden, le canton de Zurich n'a véritablement qu'un seul gisement sidérolithique, méritant d'être signalé. C'est celui du pied du Château de Laufen am Rhein, non loin de la chute du Rhin et déjà décrit par Escher en 1844.

Autrefois exploité pour ses minerais, ce gisement est aujourd'hui complètement abandonné ; toutefois, il est encore d'un très grand intérêt par la liaison qu'il établit entre le Sidérolithique jurassien, par la Lägern et celui de l'Allemagne du Sud, par le Randen. Il est d'ailleurs très vraisemblable que son isolement actuel est le résultat de l'érosion ; la formation sidérolithique de Laufen n'est nullement sporadique et il semble qu'on doive encore la rattacher au système du Randen.

¹⁾ A. ESCHER, v. DER LINTH : *Geognostische Schilderung des Kantons Zürich*, 1844.

Voici la coupe donnée par les auteurs :

Mollasse d'eau douce et marnes bigarrées	26 m. 50
Bolus rouge vif, très développé	
Banc de bohnerz mêlé de hol	2 m.
Kimmerigien moyen (Wettingerschichten).	

III. Canton d'Argovie.

Le Sidérolithique jurassien commence véritablement avec la chaîne de la Lägern. — Les gisements sont très irrégulièrement disséminés, souvent même très isolés les uns des autres depuis la région de Dielsdorf-Regensberg (Zurich), jusque vers Baden et au-delà, soit sous la forme de lambeaux très réduits ou de pointements plus considérables, de bancs régulièrement intercalés entre les formations jurassiques et mollassiques et dont l'affleurement est le résultat de l'abrasion par l'érosion, du sommet des couches plissées en voûtes, soit surtout de remplissages réguliers, en place ou irréguliers et remaniés. C'est également à l'érosion qu'il faut surtout attribuer l'allure actuelle de la distribution des produits sidérolithiques sur la Lägern : très facilement en effet, on pourrait rapporter ce Sidérolithique au type sporadique, alors que manifestement il s'agit du type régulier et continu. Si les phénomènes d'érosion suffisent à expliquer les altérations de faciès, s'ils donnent la raison de l'absence des gisements sur la région élevée de la voûte, ils doivent également encore témoigner de l'importance du phénomène sidérolithique, des remaniements qui l'ont suivi et rendre très prudent pour ce qui concerne la distinction des gisements en place. Par contre, c'est aux phénomènes tectoniques surtout, qu'il appartient de justifier certains contacts anormaux, comme celui de Rieden (N. de Baden), où l'on voit le Malm sup. et le Sidérolithique, en transgression sur la Mollasse. M. le Prof. Mühlberg a d'ailleurs, depuis longtemps déjà, reconnu dans la voûte de la Lägern, un pli déjeté vers le N. et dont le flanc S., par faille, a chevauché sur le flanc N. Mais s'il est difficile d'affirmer a priori une relation de cause en effet, entre l'intensité des phénomènes tec-

toniques et celles des altérations dues à l'érosion, il est cependant bien évident, qu'une relation très intime existe entre ces phénomènes, indépendamment même de ce qui concerne les résultats généraux de leurs actions totales sur la topographie de la région.

Ce Sidérolithique de la Lägern ¹⁾ est surtout représenté par des bols, rouges, bruns, à grains de silice, fins ou même souvent grossiers, remplissant très fréquemment des poches ou des crevasses, ou quelquefois en lambeaux superficiels, stratifiés. Les bols contiennent très souvent des rognons de silex ou des fragments de roches, des fossiles silicifiés du Malm et de très nombreux grains de fer, ronds et brillants. C. Möesch ²⁾, avait déjà signalé, après le prof. Mousson, aux environs de Brugg et de Baden, des bolus contenant des piquants d'oursins et d'autres fragments de fossiles jurassiques. Les minerais n'y sont jamais très abondants, ce qui explique l'échec des nombreuses tentatives d'exploitation industrielle; toutefois, il est bien certain, qu'à plus d'une reprise et que sur plus d'un point du territoire argovien, ces minerais ont pu être fondus, comme le prouvent d'ailleurs les scories signalées, depuis longtemps, sur le plateau du Bötzbberg, au N.-W. de Baden ou de l'Ebeneberg, près de Birrenlauf, mais à une époque incontestablement très reculée, où la bonne marche de la sidérurgie n'exigeait ni les grandes usines, ni l'emploi des grandes forces. Sur le flanc Sud de la Lägern, la nappe sidérolithique mesure quelquefois plusieurs mètres d'épaisseur, elle apparaît sur les points suivants :

Au sud de Regensberg, entre le Malm sup. (Wettingerschichten) et la Mollasse inf. d'eau douce, en un long lambeau et à une altitude variant, entre 495 et 630 m.

Plus à l'W., entre le Boppelsen et le sommet de la chaîne : la Hohwacht (857 m. 7, sur les Badenerschichten, au point culminant), en une longue bordure fréquemment re-

¹⁾ F. MÜHLBERG : *Erläuterungen zur Géol. Karte der Lägernkette*, 1902.

²⁾ C. MOESCH : *Der Aargauer-Jura*, p. 211. 1867.

couverte par les éboulis, mais visible sur plus d'un kilomètre et demi de longueur et dans la même position que vers Regensberg, à une altitude variant entre 630 et 750 m.

Enfin à Rieden, au N. de Baden, entre Rieden, la Goldene Wand et Hertenstein, sur deux points différents peu éloignés l'un de l'autre (100 à 150 m.). Le pointement situé le plus au S. est un lambeau régulièrement intercalé entre le Malm sup. et la Mollasse d'eau douce inf., de 350 à 400 m. de longueur. Le second, plus petit et plus au N., près du Signal (alt. 467) m., est également un lambeau, mais accolé au Malm et en transgression avec ce dernier sur la Mollasse d'eau douce.

M. le Prof. Mühlberg en a donné une description intéressante dans l'explication de sa carte de la Lägern.

« Sie sind als durch Faltungsüberschiebung von ihrer früheren tieferen Fortsetzung im Nordschenkel abgeschoren, nordwärts an ihre jetzige Stelle geschoben und nachträglich durch Erosion des die Ueberschiebung leitenden Gewölbescheitels isolierte « Ueberchiebungsklippen » zu betrachten.

Le professeur Mousson ²⁾ a signalé jadis des crevasses sidérolithiques au N.-W. de Baden, dans la carrière du Vieil Ermitage, où il indique des bols renfermant des fossiles jurassiques.

Plus à l'W., aux environs de Brugg, les gisements sidérolithiques sont encore, sinon plus abondants, du moins plus fréquents.

Vers Gebensdorf, entre Brugg et Baden, la couche sidérolithique se montre sur plusieurs points, jusque sur la route de Windisch à Birmensdorf.

Le Sidérolithique apparaît indifféremment entre le Malm moyen ou sup. et la Mollasse inférieure d'eau douce ou la Mollasse marine.

Moësch prétend qu'on a recherché le minerai de fer

1) MÜHLBERG : *Excursionen 1902 im Jura*, p. 192. 1902.

2) C. Moësch mentionne le fait : *Der Aargauer-Jura*, p. 211. 1867.

aux environs de Brugg, à plusieurs reprises, vers Lindhof notamment. Le Sidérolithique existe dans cette dernière localité, en banc régulier, entre le Malm moyen et la Mollasse d'eau douce inférieure, à moins de 550 m. d'altitude.

Au S. de Brugg, vers Altenburg, sur la rive droite de l'Aar, se voit une couche sidérolithique, de près de 6 m. d'épaisseur. Le minerai est assez pauvre et très mélangé de bolus; la couche, visible de nouveau sur la rive opposée, à Umiken, se continue vers le Bötzbberg et disparaît sous la Mollasse marine.

Moësch a également signalé quelques crevasses sidérolithiques dans les environs de Laufforh, au N. de Brugg et un peu plus à l'W., sur la Bruggerberg, dans les assises du Kimmerigien et tout récemment, M. le Prof. F. Mühlberg ¹⁾, en a retrouvé de comparables dans le Siggenthal, dans la petite vallée de Rothkreuz, etc...

Les formations ferrugineuses du N. du Bötzbberg, dans le Frikthal, autrefois exploitées et fondues à Laufenburg, jusqu'en 1850 encore, bien que limonitiques, n'appartiennent cependant pas à la formation sidérolithique, mais au Dogger sup. (Callovien).

Au S. de Brugg, la nappe sidérolithique suit le long de la Reuss et de l'Aar. Vers Scherz, elle est visible entre le Malm moyen et la Mollasse d'eau douce.

Par des traces assez fréquentes, petits lambeaux, remplissages profonds peu importants, placages ou simples corrosions des roches, il est facile de suivre le Sidérolithique jusque vers Aarau, le long de la frontière soleuroise, vers Aarburg. La petite colline du Hungerberg, au N. d'Aarau, a été fouillée sans résultat en vue d'exploitation. Moësch y indique un gisement fossilifère, qui n'a pas été retrouvé. D'après MM. Stehlin ²⁾ et Mühlberg, il s'agirait plutôt de Bifang, au pied du Hungerberg. D'ailleurs C. Moësch indiquait également des bols renfermant des *Unio undata*, à Kestemberg,

¹⁾ F. MÜHLBERG : *Aare-Reuss-und Limmatthal*, p. 487. 1905.

²⁾ H. G. STEHLIN : Voir plus loin à la partie « Paléontologie ».

entre Wildeggen et Moriken. Il semble que cet excellent géologue n'ait pas exactement distingué les dépôts dus à des remaniements, de ceux en place. Voici d'ailleurs la coupe, telle qu'il l'a donnée, du Sidérolithique du pied du Hungerberg :

Knauer in lockerem Sande.

Lockerer Sand mit Tuffartigem Kalk (See-Kreide) *Unio undata* mit calcinirter Schale.

Sandstein mit Bohmerzknollen.

Süsswasserkalksand.

Bohmerz mit *Emys Fleischeri* H. v. M. *Emys Wettenbachi* Bourdt., *Palaeotherienzähnen*.

Geisburgschichten des untern weissen Jura.

Plus à l'W., vers Aarburg, on voit encore un affleurement important du Sidérolithique, entre le Malm sup. et la Mollasse d'eau douce inférieure.

En résumé, le Sidérolithique de l'Argovie, se rapproche déjà beaucoup du type régulier et stratifié. Ses dépôts présentent assez de continuité. Toutefois, je ne voudrais pas affirmer, qu'il soit possible de les envisager comme les lambeaux ou les restes d'une seule et même nappe sidérolithique et cependant il est difficile de prouver pour cette région l'existence de plusieurs nappes, soit de plusieurs centres sidérolithiques. Il est bien certain que l'érosion, aidée ou favorisée par les phénomènes tectoniques, a considérablement bouleversé l'allure de la distribution première des matériaux sidérolithiques en Argovie; mais alors, on peut se demander ce que sont devenus les produits enlevés? Ont-ils formé exclusivement le Jura-Nagelfluh?

M. le Prof. Mühlberg a signalé un autre fait très intéressant : la découverte en Argovie sur le flanc sud du Kestenberg, entre Wildeggen et Brunegg, d'un calcaire d'eau douce, rappelant par ses caractères pétrographiques ceux de la vallée de Delémont et du Weissenstein dont il sera question plus loin.

Canton de Soleure.

Le Sidérolithique du canton de Soleure est encore plus abondant et plus important que celui de l'Argovie. La ten-

dance vers le type régulier s'accroît encore à l'approche du Jura central. La continuité des gisements est plus apparente, le développement des assises et la variabilité des produits plus prononcés encore. En outre, certains gisements aujourd'hui bien connus, ont fourni toute une faune, même plusieurs faunes de mammifères : à ce titre, le canton de Soleure est une des régions classiques pour l'étude de la paléontologie mammalienne et du sidérolithique.

D'Aarau, le long de la bordure interne du Jura, la nappe sidérolithique s'avance franchement et régulièrement vers Oensingen, jalonnée par des remplissages profonds de crevasses et de fissures ou des lambeaux plus étendus et plus importants. La plupart d'entre eux étant étudiés en détail dans la partie paléontologique de cette étude, il suffit d'en faire mention ici.

Vers *Obergösgen*, plusieurs crevasses fossilifères ont été mises à jour avant 1840 déjà et explorées par le savant et modeste curé Cartier. Rüttimeyer, de Bâle, fit la détermination des espèces recueillies. Dans la région, les lambeaux sidérolithiques se placent régulièrement, entre le Kimmerigien sup. (Plattenkalk) et la Mollasse d'eau douce inférieure. C. Moësch a décrit et figuré dans son « *Argauer Jura* », une de ces crevasses ou poches des « *Crenularschichten* ». C'est une cavité irrégulière, remplie de produits stratifiés : sables, bohrnerz, bolus, etc...

Par les crevasses des environs d'Oltén, de Stelli ; par les lambeaux d'Aarburg (Argovie), de Hagendorf ; par les gisements ossifères, aujourd'hui bien connus, d'Egerkingen et d'Oberbuchsiten, la nappe sidérolithique se continue régulièrement jusque bien au-delà d'Oensingen, dans la direction de Bienne.

Indépendamment de ces remplissages profonds, on voit encore, ici ou là, quelques lambeaux sidérolithiques à bolus très rouges et bohrnerz abondants. Et ici encore, le Sidérolithique s'intercale régulièrement entre le Kimmerigien sup. (Plattenkalk) et la Mollasse d'eau douce inférieure. On peut facilement le suivre jusque vers Oensingen : il est assez

souvent à découvert sur le flanc du Jura, où sa coloration vive tranche sur le fond plus terne des autres terrains. Au pied du château de Buchberg, les bols sont recouverts par une brèche calcaire à éléments jurassiques.

Dans l'aire de distribution du Sidérolithique jurassien, Oensingen est une des régions des plus intéressantes, au point de vue de la répartition géographique, car en effet, tandis que la nappe qui vient d'être suivie, assez régulièrement, depuis la Lägern, continue en longeant le flanc méridional du Jura et le bord du plateau central, jusque au-delà de Bienne, elle se rattache encore par les gorges d'Oensingen-Klus, au Sidérolithique bien plus important de l'intérieur du Jura central et d'abord à celui des vallées de la Dünneren et du Guldenthal. Oensingen est actuellement en quelque sorte, le nœud, la bifurcation de la nappe sidérolithique orientale.

Cette continuité de la nappe sidérolithique d'Oensingen vers Bienne, malgré de nombreuses interruptions, — elle n'est souvent que légèrement jalonnée — ne saurait cependant être mise en doute. Démontrée à l'évidence, par plusieurs lambeaux très développés de Sidérolithique régulier et stratifié, par des remplissages considérables et profonds, qui sont autant d'arguments en faveur du plongement de la nappe sidérolithique jurassienne sous le Plateau suisse mollassique et glaciaire, elle vient tout récemment encore, d'être révélée une fois de plus, par les travaux du tunnel d'Oberdorf-St-Joseph (Gänsbrunnen), de la nouvelle ligne Moutier-Soleure.

Le Sidérolithique est assez fréquent, sous forme de remplissages, de poches, aux environs même de Soleure. Hugl et Gressly déjà avant 1830, y découvrirent une poche ossifère, à dents de *Palæotherium* et à bolus siliceux et pyriteux. Mais n'étant pas encore accoutumés à considérer le Sidérolithique comme ossifère et pyriteux, ce n'est que plus tard, après la découverte des poches analogues, d'Obergösgen que les remplissages de Ste-Vérène furent considérés comme sidérolithiques ¹⁾.

¹⁾ Voir plus loin : Paléontologie.

Le prof. Lang ¹⁾, de Soleure, fit également connaître dès 1863, un gisement sidérolithique important, au dessus d'Oberdorf, à peu près à 80 m. au S.-W. de l'entrée du tunnel. Lang prétend, y avoir recueilli quelques exemplaires de *Paludina (acula ?)*, de *Planorbis pseudo-ammonius*. Ce gisement qui rappelle beaucoup celui qui a été mis à découvert par les travaux du tunnel, n'est plus guère visible aujourd'hui : je ne l'ai pour ma part jamais visité.

Par contre à plusieurs reprises, j'ai eu l'avantage, grâce à l'amabilité de la Direction, de visiter le tunnel d'Oberdorf-St-Joseph. Le Sidérolithique de l'entrée S. a été si bien décrit par MM. Rollier ²⁾ et Schmidt ³⁾ que je n'ai aucune observation nouvelle à signaler. Lors d'un passage à Zurich, M. Rollier a bien voulu me montrer la plupart des fossiles intéressants et que je n'avais pu y recueillir moi-même. Je me contenterai donc de résumer ici les observations de mes deux savants confrères.

A Oberdorf, le Sidérolithique mesure au moins 10 m. d'épaisseur ; il est à une altitude de 658 m. à l'entrée du tunnel et il repose sur le Portlandien. Il est surtout représenté par des bolus rouge vineux, quelquefois plus clairs, veinés de bleu ou de violet, à grains de fer pisolithiques ou à grosses concrétions silico-ferrugineuses. A son contact, le roc portlandien est très crevassé et très corrodé. Certaines crevasses remplies de bolus, descendent très profondément et au début des travaux on pouvait facilement les suivre bien avant dans le tunnel. Le recouvrement est formé par un calcaire d'eau douce à *Hydrobies (Charydrobies)*, la Mollasse et des éboulis. L'inclinaison des couches indique nettement un plongement de 40 à 55°, sous la Mollasse, vers le Plateau.

¹⁾ LANG : *Geologische Skizze der Umgebung von Solothurn*, p. 14. 1863.

²⁾ L. ROLLIER : *Dysodile d'Oberdorf*, p. 412 et *Tunnel du Weissenstein*, p. 541. 1905.

³⁾ C. SCHMIDT : *Ueber die Geologie des Tunnelgebietes Solothurn-Gänsbrunnen*, p. 15. 1902-04.

Sous les éboulis et le glaciaire, la galerie a successivement traversé :

I. Une série de couches minces calcaires et marneuses régulièrement superposées dans l'ordre suivant :

1) Une couche calcaire	30 cm.
2) Une couche de marne grise	15 cm.
3) Une couche calcaire	25 cm.
5) Une couche de marne grise	12 cm.
5) Une couche calcaire	25 cm.
6) Une couche de marne grise	15 cm.

II. Plusieurs petits bancs de calcaire lacustre, dur et sonore avec de nombreux moules spathiques de *Charhydrobia*, tiges de *Chara...* et mesurant : 120 cm.

III. Plusieurs bancs calcaires plus minces, séparés par des lits de charbon, Papierkohle ou Dysodile : 40 cm.

IV. Un banc de marnes bleuâtres : 40 cm.

V. Plusieurs petits bancs calcaires : 8 cm.

VI. Un lit de Dysodile avec restes de poissons, *Cypris*, *Smerdis* : 8 cm.

VII. Un banc de bolus rouge à concrétions ferrugineuses : 20 cm.

VIII. Un banc de calcaire fendillé et crevassé, imprégné de fer : 15 cm.

IX. De nombreuses et épaisses couches de bolus rouge, bleuâtre ou violacé, reposant sur le Portlandien.

Les espèces fossiles de la couche II. sont : *Charhydrobia transitoria* ¹⁾ Stache et *Chara petrolei*.

Les poissons des couches VI. de Dysodile, appartiennent d'après M. Rollier aux espèces suivantes : *Cypris Tournoueri* Dolf., *Smerdis macrurus* Ag., *Smerdis minutus* Ag., *Smerdis pygmaeus* Ag., de l'Eocène de Monte Bolca ou de l'Oligocène d'Aix.

Avec les gisements d'Oberdorf, se termine le sidérolithique soleurois externe. La bordure jurassienne méridionale continue bien à être jalonnée de lambeaux à bols et bohnerz

¹⁾ D'abord déterminée comme *Hydrobia Dubuissoni*, cette espèce est considérée aujourd'hui par M. Rollier comme intermédiaire entre *Charhydrobia transitoria* Stache et *H. indifferens* (Standb.) Andræ, de Brunstadt. *Charhydrobia transitoria* Stache, appartient au Liburnien (Danien lagunaire d'après M. Rollier).

même stratifiés, de poches remplies de bols, d'argiles ou de sables incontestablement sidérolithiques, jusqu'au-delà de Bienne, sur le territoire bernois.

Sans doute, le Sidérolithique de Longeau (Lengnau) ou des environs de Bienne : Montagne de Boujean, gorges du Doubeloch, etc... pourrait être invoqué comme la continuation géographique de celui d'Oensingen, par Soleure, Oberdorf. Toutefois, malgré cette apparence de continuité, par son faciès, le Sidérolithique bernois de la bordure externe du Jura, paraît se rapprocher d'avantage de celui des vallées limitrophes du Jura interne, que de celui du canton de Soleure. Les crevasses ou les poches remplies de bolus sont bien toujours comparables entre elles et en fait, il n'y a que des différences locales entre celles des bords du lac de Bienne et celles de la carrière de Ste-Vérène. Mais ce qui donne au sidérolithique de cette région bernoise un caractère qui le distingue de celui de Soleure, c'est d'abord l'apparition de ces immenses remplissages ou poches de sables siliceux (Hupper-Erde de Longeau), puis en second lieu, je dirais volontiers, « *la fusion* » des faciès sidérolithiques avec celui des marnes hauteriviennes. Mais ici je touche une question brûlante, celle des « *Poches hauteriviennes* ». J'y reviendrai.

Dans l'intérieur du Jura central, les produits sidérolithiques sont plus abondants et les gisements plus fréquents sont en outre plus étendus, plus réguliers et plus continus. La liaison des uns aux autres est plus visible et les gisements en apparence sporadiques sont des exceptions. Dès lors, il ne saurait être question d'énumérer tous les gisements connus : mais pour être complète et significative, cette étude doit surtout faire ressortir la continuité des diverses formations et de ce fait relever les grandes nappes, ce qui dans l'espèce, revient à étudier les principales vallées, les grands dépôts sidérolithiques n'occupant d'ordinaire que le fond synclinal et affleurant en bordure autour de la cuvette sans atteindre le sommet de l'anticlinal, si ce n'est que très exceptionnellement. En fait la répartition des matériaux sidérolithiques prend une autre allure.

Le Sidérolithique interne soleurois comprend :

1° La grande nappe de la vallée de la Dünner, qui occupe plus ou moins régulièrement tout le fond de la synclinale de ce nom, depuis les environs de Balsthal, jusque vers St-Joseph et paraissant surtout très épaisse dans la région comprise entre Balsthal et Matzendorf et aux environs de Welschenrohr. Les bols rouges, plus rarement jaunâtres, forment des couches souvent très puissantes fréquemment visibles. A l'W. du Moulin de Matzendorf, ils sont verdâtres et pyriteux. Les bohrerz sont en couches et souvent très abondants ¹⁾. Les sables siliceux (Hupper-Erde) remplissent des poches dans le Kimmerigien du pied N. du Weissenstein entre Herbetswyl et Matzendorf. Au S.-E. d'Herbetswyl et au S. d'Ædermanskirch, les bols sont parfois recouverts par une couche de calcaire rougeâtre, argileux, contenant des pisolithes de fer (Calcaire de Daubrée). Les gisements reposent le plus souvent sur le Kimmerigien, surtout du côté du Weissenstein; mais parfois aussi sur le Séquanien, (N. de Laupersdorf). Ils sont rarement superficiels, mais le plus souvent recouverts par les éboulis, le quaternaire et surtout la Mollasse oligocène.

2° La nappe du Guldenthal, moins importante peut-être, mais considérable encore et très régulière. Ses matériaux : bols, sables, bohrerz, jusqu'au calcaire du S. de la ferme de Moos [(alt. 947 m.), équivalent de celui de Daubrée, d'Herbetswyl], représentent évidemment la continuation minéralogique de ceux de la Dünner, comme leur position entre le Kimmerigien et la Mollasse alsacienne, prouve leur continuation géographique.

¹⁾ Des documents datant de 1302 et 1330, parlent déjà des mines de Balsthal. Une fonderie existait déjà à Klus vers 1539; elle fut agrandie en 1630. La Société de Roll bâtit les hauts fourneaux de Gännsbrunn (1803) et de Klus (1810). Il y avait des Forges à Ædermanskirch, à Gerlafingen. On exploitait le minerai au treuil toujours sur plusieurs points : Balsthal, Matzendorf, Welschenrohr, St-Joseph,.. Depuis 1877 il n'y a plus qu'une fonderie à Klus et depuis 1843 le haut fourneau de St-Joseph est à Choindez (J. B.) Seuls les sables continuent à être exploités.

3° La nappe du vallon de Girland au N. de Beinwil, plus réduite encore et déjà plus différente. Elle repose sur le Séquanien et est recouverte par la Mollasse alsacienne.

4° Enfin, les lambeaux de la région de la Hohe Winde, très réduits et qui restent comme les débris d'une ancienne nappe plus considérable :

- a) Dans le vallon de la Marchstein, à l'W. de la Hohe Winde, dans la partie sup. de la vallée de la Scheulte (Berne), le Sidérolithique forme encore une petite nappe et une poche. Le Calcaire de Daubrée y est bien découvert ;
- b) Au N. des Nüsselboden (N.-W. de la Hohe Winde), deux lambeaux sidérolithiques sont à plus de 900 m. d'altitude ;
- c) Au N. de Neuhüsli, se voit encore un petit lambeau, (alt. 890 m. à peu près).

La position stratigraphique de tous ces gisements, y compris la nappe régulière de Girland, reste identique : le Sidérolithique est intercalé entre le Séquanien et la Mollasse alsacienne en général et ce n'est que très rarement que l'on observe d'autres contacts. Cette position, du moins pour ce qui concerne le substratum, se conserve également encore plus au N., en allant vers la vallée du Rhin. La plus grande partie des gisements sidérolithiques du Jura soleurois, N. du Waldenburg (Bâle-Campagne), jusque vers Liestal, pourraient se rattacher par ce caractère à ceux du val de Laufen (Ct. de Berne).

Les gisements de ces régions ne sont pas très importants. Il suffira d'en citer quelques-uns des principaux :

Au S. de Diegten, dans le Waldenburg ;

Entre Mühle et Mettenbühl au N. de Bretzwil. (Indiqué par M. Rollier) ;

Sur le plateau de Gempen, aux environs de Hochwald (Hobel) ;

¹⁾ L. ROLLIER : Consulter son II^e supplément, 1898.

Dans la vallée de Liestal, près de Lausen et de Bubendorf.... etc.

Le sidérolithique est représenté par des bols rouges (Diegten, Lausen): des sables siliceux, des terres réfractaires (Lausen) et surtout par une brèche sidérolithique à grains de bohnerz et à galets souvent impressionnés, réunis par un ciment rougeâtre.

A. Hobel, P. Mérian déjà, avait signalé un calcaire renfermant des *Planorbis pseudo-ammonius*. D'après M. Rollier ¹⁾ ce calcaire serait remanié dans la brèche sidérolithique très fréquente dans la région et sur le plateau de Gempen. M. Gutzwiller vient d'en publier une description très exacte dans son splendide mémoire « Die eocänen Süswasserkalke im Plateaujura bei Basel ²⁾ ».

Je n'avais pas connaissance de ce mémoire lors de mes excursions dans le Jura bâlois et je n'ai pu retrouver le fameux gisement de Hochwald, du moins les Planorbes; par contre j'en ai recueilli de magnifiques à Lausen ³⁾.

V. Canton de Berne.

Le Sidérolithique bernois est exclusivement localisé dans le Jura et ne fait qu'effleurer la bordure N. du Plateau suisse.

Les gisements sont encore plus abondants, plus nombreux et surtout plus réguliers que dans la partie orientale, de la chaîne jurassienne qui vient d'être parcourue. Leur distribution géographique est étroitement liée à la topographie actuelle. Leur liaison avec ceux de l'E. du canton de Soleure, du Jura Bâlois, ou de l'Argovie est bien apparente en règle générale.

¹⁾ L. ROLLIER : id. p. 113.

²⁾ A. GUTZWILLER : *Verh. Basel*, p. 186... IX.

³⁾ Le prof. d'Annone de Bâle, a indiqué un gisement de *Pl. pseudo-ammonius*, près d'Aesch. MM. Leuthardt et Stehlin ont recueilli cette même espèce dans les environs d'Arlesheim (Hollenreben).

Le Sidérolithique du val de Laufon, par exemple, se rattache très bien à celui du Jura bâlois, par les gisements de Reigoldswil, de Bretzwil, d'Enge, de Himmelried, etc... dont il a été question déjà. Tous ces gisements, comme ceux du Laufonnais, d'ailleurs, ont ce caractère commun d'avoir le même substratum : le Séquanien. Quant au supers-tratum, il varie quoique peu : mollassique le plus souvent, il est quelquefois remplacé par des éboulis ou des matériaux charriés et remaniés.

Dans la vallée même de Laufon, le sidérolithique affleure :

A l'E. de Brislach.

Au S.-W. de Laufon, vers le Buchberg.

Au N.-W., vers Rœschenz.

Le Séquanien présente fréquemment des altérations attribuables au Sidérolithique. Il est en outre souvent crevassé et fendillé. Quiquerez a indiqué des crevasses, qu'il appelait « *éjectives* », près de la gare de Laufon. On en voit d'autres également dans les carrières de la région. Celles du Silberloch sont trop connues par les descriptions de Gressly, pour que je m'y arrête.

Les crevasses de Rœschenz, intéressantes pour celui qui s'occupe d'histoire et de légendes populaires appartiennent déjà à la vallée de la Lucelle. Quiquerez prétend y avoir recueilli du fer hépatique ¹⁾. Les minerais de cette région sont intéressants à cause de leur richesse en arsenic.

Dans la vallée de la Lucelle, les dépôts sidérolithiques sont également connus sur plusieurs points, depuis Rœschenz jusqu'au delà de Lucelle et dans la direction de Charmoille, on voit des lambeaux assez importants :

Au N. et à l'E. de Petit-Lucelle, vers Rœchenz, sur le Séquanien.

¹⁾ Cet échantillon doit être à Zurich. Quiquerez avait donné en 1858 au Musée de cette ville une collection d'échantillons pétrographiques du terrain sidérolithique. M. Rollier en a publié la liste en 1895. (II^e supplément... p. 97).

Entre Petit-Lucelle et Roggenburg, sur le Séquanien.

Au N. de Roggenburg, sur le Kimmerigien.

Aux environs de Lucelle, à l'E. et à l'W. vers Char-
moille et Roggenburg, sur Séquanien également.

Ces dépôts, la plupart réguliers, avec puissante couche de bohrerz furent autrefois exploités et alimentèrent le haut-fourneau de Lucelle, dont les feux furent éteints en 1882.

Plus au N., il n'y a plus que quelques poches, (ou remplissages de crevasses), par des sables ou des bols impurs. M. Rollier en a signalé deux, vers Flühen et Buchsweiler, sur la lisière alsacienne et dans le Rauracien.

A certains égards, le Sidérolithique du Plateau d'Ajoie devrait être rapproché de celui de la Lucelle. Il est d'ailleurs peu important. Thurmann et Quiquerez l'ont cependant déjà décrit. Le premier y aurait même découvert des ossements. Les dépôts réguliers sont très rares sur tout le plateau, il n'y a que quelques remplissages aux environs de Porrentruy, dans la direction d'Alle et de Fontenais. Quiquerez a indiqué des argiles sidérolithiques à Beurnevésain et à Damphreux.

M. le recteur Koby m'a dit avoir observé une couche de bol rouge, sous le Tongrien, lors du creusement des canalisations de Porrentruy.

MM. Thiessing, Koby et Rollier ont étudié et décrit le gisement si curieux de la Roche de Mars, près Porrentruy. C'est une crevasse remplie de sable siliceux.

Pour plusieurs raisons, le Sidérolithique ajoulot, bien que très peu important, pourrait être invoqué comme une liaison entre ceux de l'intérieur du Jura et ceux de la bordure franc-comtoise et même alsacienne. Il est bien évident que ces quelques lambeaux sont les restes d'une nappe bien plus importante. La présence de bols et de bohrerz dans la gompholithe tongrienne est un argument en faveur de cette hypothèse.

Dans la vallée de la Birse entre Laufon et Soyhères, le Sidérolithique a laissé de fréquentes traces de son passage, mais il n'est plus représenté que par quelques lambeaux,

dont le principal est vers Liesberg, encore placé sur le Séquanien.

Dans le vallon de Mettemberg-Bourrignon, par contre il est représenté par une couche importante occupant le fond et plusieurs grandes poches ou charbonnières. Mettemberg fut visité et décrit déjà par Al. Brongniart.

Vers le Moulin de Bourrignon, on voit un affleurement intéressant du Calcaire de Daubrée, rappelant celui d'Herbetswil (Ct. Soleure).

Par la vallée de la Birse, ou la coupure du Vorbourg, nous arrivons en plein val de Délémont.

Rien de plus anormal, peut-on dire, que cette magnifique mais pseudo-dépression ¹⁾ de 20 km. de longueur sur 5 de largeur, isolée au milieu d'une région très bouleversée et régulièrement plissée! La formation sidérolithique paraît y avoir accumulé ses matériaux, et la Vallée, qui en fut peut-être le centre géologique, en est encore aujourd'hui, le centre géographique et industriel. Nulle part en Suisse, les dépôts sidérolithiques ne sont si abondants et si réguliers: leur épaisseur totale peut atteindre plus de 70 m. D'une manière générale on peut admettre que le fond synclinal de la vallée est recouvert presque totalement par la couche sidérolithique. Sur tout le pourtour, les gisements affleurent régulièrement en bordure presque sans interruption, et en profondeur, la continuité de la nappe a été mise en évidence par les sondages et les puits qui ont été foncés.

Les bols jaunes (terre de Greppin) des couches supé-

¹⁾ Observons que la gare de Délémont est à l'altitude de 416 m, alors que Bienne est à 438, Soleure à 435, Berne à 550, Porrentruy à 425 etc.. Depuis longtemps déjà cette irrégularité, (la déviation subite des chaînes des extrémités de la cuvette), a intrigué les géologues. Le prof. Fournet, de Lyon, l'attribuait à une connexion avec les cassures des Alpes Sardes. Le Dr Greppin y voyait une relation entre Bienne et le Mont-Blanc par un axe de déviation des Alpes et du Jura. M. le Prof. Steinmann de Fribourg, fait intervenir une ligne de dislocation (Sundgaulinie), provenant du pied oriental des Vosges.

rieures y sont surtout très développés. Sur certains points, leur épaisseur dépasse 50 m. Les sables siliceux, bien moins importants sont généralement stratifiés et intercalés dans la série des assises, ce qui donne aux gisements l'allure des faciès superposés : celui des bols et celui des sables. Rarement les sables forment des remplissages irréguliers : l'exploitation n'en a pas signalé sur le fond synclinal même, mais il y en a plusieurs en dehors de la zone de la couche régulière, c'est-à-dire, dans le calcaire des flancs relevés et en partie abrasés des anticlinaux de la bordure de la cuvette, surtout vers l'extrémité orientale.

Les bohrerz sont surtout en couche, le filon-couche industriel est à la base des bols. Tantôt l'épaisseur de la couche dépasse 2 m. 50, tantôt elle est inférieure à 1 m. 20, ce qui est le cas ordinaire et tantôt même, elle est si réduite, qu'on peut la considérer comme éteinte.

Le Calcaire de Daubrée est également connu dans la région. On en voit un magnifique gisement au N. de Courfaivre, à la grotte de Ste.-Madeleine. Certains auteurs qui le signalent, au N. de Corban, paraissent faire une confusion : je n'y ai jamais rencontré que la gompholithe helvétique.

Enfin, fréquemment intercalé dans les bols ou même les recouvrant, on voit un calcaire d'eau douce à *Planorbis*, grains de *Chara* : la Raitsche ¹⁾ du Dr Greppin. Il y a plusieurs niveaux de cette Raitsche et c'est à tort qu'on les a confondus. On peut en voir un affleurement intéressant sur la rive droite de la Scheulte, entre Courroux et Courcelon, puis plus à l'E., entre Courcelon et Vicques.

Sans exception, les dépôts réguliers de la Vallée reposent sur le Kimmerigien. Quant au superstratum, il varie.

¹⁾ En patois, *raitsche*, signifie grossier, couvert d'aspérités etc... M. Rollier le fait synonyme de croûte, incrustation. Dans ce travail, la Raitsche est sidérolithique et je ne la confonds pas avec les calcaires d'eau douce aquitaniens. (Voir la note de M. Rollier p. 74 II^e supplément aux Matériaux).

C'est le plus souvent la Mollasse alsacienne. Les éboulis cachent les affleurements au pied des pentes, mais c'est un contact évidemment accidentel ¹⁾.

Dans la partie orientale de la Vallée (le val Terby), le Sidérolithique est en couche régulière bien visible ; la couche des bohnerz paraît peu épaisse. A la Mochairde, au S.-W. de Mervelier, un puits ouvert n'a pas rencontré la couche de fer en grains sur le calcaire, par 72 m. de profondeur. A l'E. du village, j'ai observé une crevasse dans le Kimmerigien, dont les parois étaient absolument recouvertes de calcite en gros cristaux, colorés par le contact des bols. On peut d'ailleurs parfaitement suivre l'affleurement en couronne de la nappe régulière, sur presque tout le pourtour, depuis le village de Vicques.

Il y a également des poches et des remplissages :

Sur la colline de la Mochairde, au S.-E. de Mervelier.

Aux Esserts-Jeanmerins, à l'E. de Montsevelier.

Au N. de Corban, au Fringeli.

D'après M. Rollier, cette dernière poche de sable siliceux serait dans le Rauracien.

Le Sidérolithique des environs de Mervelier est caractérisé par ses splendides silex disséminés dans les bols.

Vers Vicques, le Sidérolithique garde la même allure, il est en couche régulière et en remplissages. On pouvait voir ces derniers temps, une magnifique crevasse, de plus de 10 mètres de profondeur, dans les calcaires du Kimmerigien de la carrière située entre Vicques et Recollaine. L'examen de ces calcaires de Vicques montre, à l'évidence, le contact des dépôts sidérolithiques qui sont d'ailleurs bien visibles et souvent superficiels, plus à l'W., depuis Vicques, vers Courroux et Delémont, jusqu'au delà de Develier. La coupure de la Birse permet de suivre l'allure des couches et montre de nombreuses crevasses, soit au N., soit au S.

¹⁾ Consulter les coupes relevées par Quiquerez et publiées par le Dr Rollier (11^e Supplément p. 75-96).

La couche des éboulis et surtout celle des bols sont quelquefois si épaisses, que pour atteindre les bohrerz il faut descendre à plus de 100 m. C'est ainsi qu'au puits Gréby au N.-W. de Delémont, les marnes jaunes à elles seules mesureraient 87 m. et qu'à 133 m. de profondeur, les minerais n'étaient pas encore atteints. Mais plus à l'W, encore, vers Domont, la couche n'est qu'à 60 m. de profondeur ou même seulement à 15, comme par exemple vers Develier (Lieu-Galet). L'exploitation sans puits est par suite bien vite rendue impossible.

Dans la plaine au S. de Delémont, vers Courrendlin-Courtételle, la couche des bohrerz est assez profonde ; les puits actuellement ouverts, au nombre de quatre, descendent à la profondeur de :

127 m. Puits Lachat, abandonné, utilisé pour l'aérage et la ventilation.

107 m. Puits Blancherie, en exploitation. La profondeur maximale est 127 m.

88 m. 75. Puits Traversin, en exploitation.

74 m. 50. Puits de la Croisée, ancien puits remis en activité (octobre 1906).

Ces données sont assez significatives si l'on tient compte de ce fait que tous ces puits sont foncés en une région, dont l'altitude varie entre 400 et 425 m.

Dans la partie occidentale de la vallée : Séprais, Montavon, Boécourt, etc... la nappe sidérolithique se continue également avec la même allure. Toutefois, son épaisseur est moindre et par suite les bohrerz sont moins profonds. Quiquerez a signalé dans certaines minières des couches de *Flatz*. La gompholithe ou Calcaire de Daubrée affleure également au-dessus de Courfaivre.

La chaîne de St-Brais forme la bordure W. de la Vallée et aussi la limite de l'expansion des produits sidérolithiques dans cette direction. Il n'y a donc pas de continuation apparente vers l'W, mais les dépôts du Val Terby se rattachent à ceux de la région de la Hohe-Winde et de la vallée

de la Scheulte : Marchstein, Nusselboden, Girland..., soit au Sidérolithique soleurois du N. du Goldenthal.

Le Sidérolithique de la Marchstein est intéressant par son Calcaire de Daubrée bien apparent. Il y a une grande poche et une nappe qui suit le fond de la vallée. Vers le Grand-Mont, (E. du val Terby) le Kimmerigien se substitue au Séquanien comme substratum. Le superstratum est assez souvent la Mollasse alsacienne dont il reste quelques lambeaux, mais aussi le quaternaire.

Vers le S., la nappe régulière de Delémont se rattache à celle du val de Moutier, mais auparavant à celle du val-lon Vermes-Soulce.

Dans le petit val de Vermes, le Sidérolithique est également en couches régulières, visibles sur plusieurs points au N. du village, au pied du Plainfayen ; au S., au pied du Ramieux ou vers l'E., Devant-la-Mait. Par Devant-la-Mait, le Sidérolithique de Vermes se rattache facilement à ceux du Val Terby et de la Scheulte.

J'ai découvert quelques poches de sables siliceux, peu considérables, le long du pied de Plainfayen, dans le Kimmeridien. Le Calcaire de Daubrée est bien visible à droite de l'entrée des gorges d'Envelier.

Dans les gorges mêmes, le Sidérolithique affleure très bien dans la petite synclinale de Notre-Dame longeant le pied N. du Ramieux, pour continuer directement vers l'W. On trouve également sur le Séquanien des blocs de fer compact, amorphe, très lourd.

Par Rebeuvelier d'abord, puis par la Verrerie de Roche, où j'ai signalé des crevasses sidérolithiques fossilifères, la couche se continue dans le vallon de Soulce, jusqu'au de là d'Undervelier, pour se terminer définitivement dans cette direction en avant de la Blanche Maison. Le Calcaire de Daubrée est également en bancs de plusieurs mètres d'épaisseur au N. de Soulce. On voit dans le voisinage un remaniement du Sidérolithique dans la Mollasse.

La position stratigraphique est toujours la même : entre le Kimmeridien et la Mollasse alsacienne.

La nouvelle route de Soulce à Courfaivre a mis à jour plusieurs crevasses remplies de sables siliceux, creusées dans le Séquanien.

On a signalé un lambeau de Sidérolithique sur Raimeux. Gressly, je crois, en parle déjà quelque part. Je ne sais si je l'ai bien retrouvé, car les terres rouges, très ferrugineuses, mais sans bohrerz, que je connais sur ce haut-plateau, quoique placées sur le Kimmeridien, me semblent assez énigmatiques. Toutefois, jusqu'à preuve du contraire, je veux bien les envisager comme sidérolithiques, du moins comme une « espèce » de Sidérolithique !

Les dépôts du val de Moutier rappellent absolument ceux du val de Delémont. Il y a toutefois lieu de remarquer que les sables siliceux y sont tout particulièrement abondants et que les bohrerz n'y sont pas exploités. Les faciès des sables et des bols sont encore superposés, mais cependant déjà plus distincts, presque séparés.

Le Sidérolithique de Moutier comprend :

1° Une nappe en apparence régulière, formant couche à peu près continue en profondeur, dont l'existence est révélée par les affleurements en bordure sur les bords de la cuvette, mais dont l'allure est cependant hypothétique, faute de sondages profonds. Toutefois, on peut admettre que cette nappe est comparable à celle du val de Delémont, mais plus pauvre en bohrerz.

2° Des poches quelquefois considérables et remplies surtout de sables siliceux et de terre réfractaire, disséminées le plus souvent en dehors de la zone de la nappe régulière, dont elles sont les racines.

La couche régulière à bols et à bohrerz [souvent assez importants pour être exploités (environs de Corcelles, de Cremine...)] repose tantôt sur le Kimmeridien, tantôt sur le Portlandien. Son recouvrement est encore plus varié et des travaux réguliers rendraient incontestablement un grand service en élucidant la question. La construction de la voie du chemin de fer Moutier-Soleure n'apportera aucun renseigne-

ment bien important; par contre si le projet du Moutier-Granges se réalisait, on pourrait espérer quelques découvertes utiles.

Dans la partie orientale, soit à l'E. de Grandval, le Sidérolithique régulier, autrefois exploité (pour le haut-fourneau de St-Joseph, transporté à Choindez depuis 1843), repose sur le Kimmeridien et est recouvert par la Mollasse alsacienne. Il rappelle donc absolument le Sidérolithique du Jura oriental auquel il se rattache par le Bechlet et le vallon d'Elai. (Moos et le Guldenthal...).

Dans la région de Moutier-Grandval, le Kimmeridien forme encore le substratum le long du Raimeux et de la Basse-Montagne, jusque vers le Coulou; au N., le long du Graiteray, il en est encore ainsi, jusqu'à la coupure ouverte par la Birse, à la sortie des gorges de Court. Plus à l'W. la couche régulière repose sur le Portlandien. Le recouvrement n'est plus alors, dans cette partie de la vallée, la Mollasse alsacienne, sauf quelques exceptions cependant, il y a entre elle et les bols supérieurs une couche de calcaire lacustre à *Lymnæa longiscata*... et fossiles d'eau douce, considéré autrefois comme Purbeckien et envisagé aujourd'hui, comme analogue à la Raitsche de Delémont.

D'après M. Rollier, au N. de Moutier, ce calcaire éocène serait subordonné à la gompholithe d'Ajoie.

Plus à l'W., dans la partie occidentale, vers Souboz, Sornetan, le Châtelat, cette disposition ne se conserve qu'en partie: le Portlandien fait quelquefois place au Kimmeridien (S. de Sornetan) comme substratum et le recouvrement est tantôt la gompholithe, tantôt la Mollasse alsacienne: le calcaire à lymnées manque, comme dans l'extrémité orientale.

Je rapprocherai de ces gisements, le Sidérolithique du plateau de Bellelay absolument de même position, intercalé entre le Portlandien et la gompholithe, recouverte par la Mollasse.

Les poches de sables sont disséminées tout le long de la vallée; mais cependant elles sont surtout abondantes et fréquentes aux environs de Moutier. Dans la partie orientale,

les crevasses des calcaires du Raimeux contiennent souvent des sables assez étranges, de colorations diverses par suite de l'altération due aux infiltrations. Au-dessus de Grandval par exemple, on peut recueillir un sable à gros grains, presque noirâtre, à reflets brillants. Des concessions ont été accordées à plusieurs reprises et en 1850 notamment, on bâtit à Crémigne une maison et des fourneaux, pour le traitement de ces matériaux siliceux, en vue d'en extraire l'argent qu'ils contenaient! De pareilles crevasses sont très fréquentes sur tout le flanc du Raimeux et j'en ai exploré plusieurs.

Les véritables et principales poches de sables et de terre réfractaire ¹⁾ sont :

Sur le pâturage communal de Moutier : Petit Champoz, la Crâtre, à la gauche de la sortie des gorges de Court.

Entre Pierrefitte et Sornetan.

Au N. de Moutier, au Champ Vuillerat.

Il ne saurait être question d'énumérer ici toutes ces poches trop nombreuses et très semblables : plusieurs, non encore découvertes, se trahissent par l'affaissement du sol ou la végétation qui les recouvre. En parcourant le Graiter, on trouve fréquemment des lambeaux sidérolithiques ou des poches de sables presque jusqu'au haut de la voûte, soit à plus de 900 m. d'altitude. Ces lambeaux relient naturellement le Sidérolithique du val de Moutier à celui du val de Court-Tavannes, dont il a été question déjà à propos de celui de St.-Joseph. Moins important que celui de Moutier, il en a cependant le caractère et l'allure : la gompholithe d'Ajoie et le calcaire à *Lymnaea longiscata* y font totalement défaut. La couche régulière est exclusivement intercalée entre le Portlandien et la Mollasse alsacienne. Depuis St.-Joseph, jusqu'au delà de Tavannes, on peut suivre la couche sidérolithique

¹⁾ Les principales sont concessionnées et exploitées très régulièrement pour la fabrication du verre (Verrerie de Moutier) et des briques réfractaires (briqueteries de Moutier de la Soc. de Roll).

qui affleure en bordure tout le long de la vallée, s'avancant presque jusque vers Tramelan. Les sables siliceux sont également représentés par des poches importantes :

Au N. de Court.

Vers Champoz.

Au N. de Reconvillier.

Au Fuet.

Vers Bellelay, plus au N., il existe également une sablière importante, à la Bottière.

Depuis le val de Tavannes, tous les synclinaux jurassiens, jusqu'à Bienne, présentent tout au moins quelques traces de dépôts sidérolithiques.

Dans le val de Sonceboz, le Sidérolithique est encore en couche entre le Portlandien et la Mollasse alsacienne. Ses bohnerz, ainsi que ceux du val de Péry, ont alimenté l'ancien haut-fourneau de Frinvilliers.

A l'E. de Péry, existe aussi une poche considérable de sable siliceux jaunâtre. C'est la seule, actuellement découverte, mais, Quiquerez déjà fait observer que les éboulis doivent en cacher plusieurs autres. On peut encore admettre ici, une couche plus ou moins régulière de bol et de bohnerz occupant le fond de la vallée.

Il n'en est plus ainsi, par contre, dans le val d'Orvin ou dans celui de Vauffelin, où les dépôts sidérolithiques n'ont laissé comme traces de leur passage que des fissures remplies de sables, de bols rouges ou violacés et toujours assez profondes dans les calcaires encaissants du Portlandien généralement. On peut en voir de nombreux exemples sur la montagne de Boujean, le long de la route, entre Frinvilliers et Boujean, dans les gorges du Taubenloch, etc... M. Rollier a surtout décrit cette région, je ne m'y arrêterai pas davantage.

Par le Taubenloch, où l'érosion sidérolithique a également laissé maintes preuves de son passage, nous rejoignons le Sidérolithique de la bordure interne de la chaîne jurassienne, dont il a déjà été question à propos du Sidérolithique soleurois et dont j'ai indiqué la continuation dans cette direction. Je n'ai plus que quelques mots à ajouter.

Depuis Oberdorf, la couche qui a laissé au pied du Weissenstein des lambeaux assez importants, continue certainement vers l'W., cachée en profondeur par le Plateau suisse ou superficiellement par les éboulis. Les lambeaux encore importants et réguliers adossés au Portlandien de l'W. de Longeau, comme les poches de sables de cette même localité, le témoignent.

Il y a trois grandes poches en exploitation pour les sables. Trois autres, non exploitée paraissent recouvertes de bols, mais il y a toute raison de supposer en dessous la présence des sables. Le Sidérolithique repose toujours sur le Portlandien et on peut en longeant le bord du Plateau, suivre sa trace jusqu'au delà de Bienne. Les calcaires sont fréquemment altérés et corrodés et en outre de temps en temps, apparaissent des remplissages incontestablement sidérolithiques. Toutefois, l'allure des gisements, de leur répartition se modifie: le type régulier disparaît de plus en plus, remplacé par le type sporadique. Le faciès sidérolithique ordinaire, sans disparaître totalement, s'atténue cependant au contact des marnes hauteriviennes et à ce point de vue, il mérite une étude spéciale.

Un autre facteur dont il faut tenir bon compte, c'est l'arrêt brusque et subit, par le Plateau des Franches-Montagnes, de l'aire actuelle de la répartition sidérolithique. Tous ceux qui ont parcouru ces régions si typiques ont dû reconnaître après Quiquerez ¹⁾, que le Sidérolithique n'y avait pas laissé de traces de son passage. Or, pour qui connaît l'intensité des phénomènes de l'érosion sidérolithique, il est presque inadmissible que l'abrasion ait enlevé si complètement la nappe sidérolithique du Plateau franc-montagnard, qu'il n'en reste au moins quelques vestiges. Pour l'instant, la conclusion qui s'impose jusqu'à preuve du contraire, c'est que le phénomène sidérolithique n'y a pas déposé ses produits.

¹⁾ QUIQUEREZ: *Renseignements géologiques*, p. 351 (Manuscrit au bureau de l'Inspectorat des Mines du Canton de Berne).

Plus au S. et au S.-W. on n'a signalé de lambeaux, sidérolithiques qu'aux environs de St-Imier.

M. Rollier¹⁾ indique sur le Chemin du Sergeant, un trou rempli de terre argileuse brune; mais il reconnaît qu'elle pourrait fort bien être quaternaire! D'après le même auteur, les pisolithes ferrugineuses ne sont pas rares dans la région, il mentionne par exemple, le Champs des Longines, à Villeret, Beau-Site, à St-Imier et donne une coupe relevée dans la rue de l'Hôpital à St-Imier, montrant une couche de bolus brun à pisolithes de fer, intercalée entre une assise marneuse néocomienne fossilifère et des argiles brunes subordonnées à la Mollasse alsacienne.

Si peu importants ces lambeaux soient-ils, leur présence est cependant intéressante. Leur allure, d'ailleurs très sporadique, fait prévoir les gisements analogues du Jura neuchâtelois, dont je vais dire un mot immédiatement.

VI. Cantons de Neuchâtel, de Vaud, de Genève.

Un chapitre spécial étant consacré à la question des *remplissages anormaux*, je crois pouvoir ne m'occuper ici que du Sidérolithique proprement dit, à faciès des bols et des sables. D'ailleurs, comparée au reste du Jura, la partie occidentale de la chaîne jurassienne suisse n'a qu'une importance relativement minime. Les gisements deviennent de plus en plus rares et de plus en plus disséminés à mesure que l'on descend d'avantage vers Genève. Le type sporadique s'affirme nettement et à part quelques rares lambeaux en bancs, tout le Sidérolithique de la région est représenté par des remplissages.

Si les *Poches hauteriviennes* sont véritablement un mode local du Sidérolithique général, les gisements du Jura bernois se rattachent facilement à ceux du Haut-Jura neuchâtelois et à ceux de la région vaudoise. Sans rien préciser pour l'instant, remarquons cependant, que l'interruption

¹⁾ ROLLIER: loc. cit, et 1^{er} supplément, p. 135 et suivantes. 1893

brusque de l'aire sidérolithique du Jura bernois par le plateau franc-montagnard, reste un fait reconnu et établi et que par suite, la liaison des gisements bernois et neuchâtelois, si faible soit-elle, doit cependant nécessairement en porter des traces et trahir l'influence plus ou moins profonde des faits qui l'ont provoquée.

Jusqu'à ce jour, les gisements sidérolithiques neuchâtelois connus sont peu nombreux et peu considérables.

Le tunnel des Crosettes (près de la Chaux-de-Fonds) a rencontré aux km. 75,435, dans le Séquanien, un boyau de sable siliceux, impur, jaunâtre, renfermant quelques grains de limonite.

Jaccard ¹⁾ a exploré une poche analogue aux environs des Brenets.

M. Ritter ²⁾ ingénieur, a également signalé une poche dans l'Urgonien des Saars, près de Neuchâtel.

Une autre poche contenant des pisolithes de fer agglutinées, sans bolus, a été découverte sur la promenade des Zigzags, à Neuchâtel. D'après une analyse assez étrange ³⁾, ces derniers minerais contiendraient du cuivre.

Les environs de Neuchâtel, de St.-Blaise, présentent souvent, sinon des poches régulières et bien caractérisées, du moins des altérations rappelant beaucoup celles produites par le phénomène sidérolithique. Ce sont les décompositions de la roche, qui devient surtout ferrugineuse et perd généralement sa valeur industrielle: les carriers neuchâtelois leur donnent le nom de *Chancres*. En compagnie de M. Schardt j'ai eu l'occasion, à plusieurs reprises, d'examiner quelques-uns de ces « chancres ». Je suis parfaitement disposé à les envisager comme des altérations sidérolithiques, mais en faisant cette restriction cependant, qu'il ne faudrait pas généraliser les

¹⁾ JACCARD : *Description géologique du Jura vaudois*, p. 64 et 113 1869.

²⁾ RITTER : *B. Neuchâtel*, p. 39, XI.

³⁾ TRIBOLET : *B. Neuchâtel*, p. 24, XI: Il cite aussi quelques gisements peu connus.

conclusions, car il est fort possible que certaines de ces altérations sont très récentes et dues exclusivement à une infiltration locale ou purement accidentelle.

Dans le canton de Vaud, sans être très fréquents, les gisements sont cependant plus abondants et se rattachent mieux que ceux de Neuchâtel au type du Jura oriental. On peut y distinguer deux groupements principaux, à savoir :

1° Les gisements de la région du Mont de Chamblon.

Tous ces gisements sont représentés par des remplissages dans les calcaires ou les marnes du Hauterivien supérieur, plus rarement dans l'Urgonien inférieur. Certaines crevasses sont fossilifères et leur faune, composée d'une douzaine d'espèces, appartient franchement au *Lutétien sup.*¹⁾ Ces remplissages fossilifères à bol ou bohrnerz sont très fréquents dans la région. Les carrières de la Grotte, du Châtelard, du Moulin Cosseau et du Moulin Chappuis en montrent plusieurs. Dans certaines, les bohrnerz font défaut : les bols sont eux-mêmes très variés : souvent rouges, bruns, jaunâtres, verdâtres, à grains très fins ou plus grossiers, passant quelquefois à une argile bleu de ciel, souvent pyriteuse. Le calcaire des carrières (p. ex. à celle du Four à Chaux) est toujours très altéré et parfois sur de grandes surfaces.

La découverte de ces gisements est due en grande partie à l'exploitation des carrières : ils ont été signalés surtout par M. le prof. Schardt²⁾. Il est très vraisemblable que de semblables crevasses existent encore dans la région et la connaissance plus approfondie du sol des environs d'Yverdon permettra de reconnaître la vraie signification du Sidérolithique du Mont de Chamblon.

A l'W. d'Yverdon, on connaît une crevasse à Chevressey, dans le Néocomien, au milieu de la Mollasse.

2° Les gisements d'Orbe, de la vallée du Talent et du Mormont.

¹⁾ G.-H. STEHLIN : *Eclogæ*, 365, VII. — *Actes S. helv.*, 121, 1902 — *Archives Genève*, 495, XIV et voir plus loin Paléontologie.

²⁾ H. SCHARDT : *Sur la Mollasse rouge...* p. 626, 631.

Le Sidérolithique du Mormont est connu depuis longtemps par les travaux des géologues vaudois, de la Harpe, Gaudin, Campiche, Chavannes, etc... et des paléontologistes Pictet et Humbert.

Aux environs d'Orbe, Jaccard et Chavannes avaient reconnu un affleurement sidérolithique dans un ruisseau venant d'Agiez, mais sans pouvoir reconnaître sa véritable étendue. M. le prof. H. Schardt a retrouvé une couche en bancs réguliers de 12 à 15 m. d'épaisseur avec bohrerz pauvre à la base et intercalée entre la Mollasse rouge aquitanienne et l'Urgonien, dans les gorges du Talent, aux environs de Goumoens-le-Jux. C'est le dépôt le plus régulier et le plus typique de tout le Jura occidental et aussi le plus étendu.

Vers le Mormont, les dépôts sidérolithiques sont encore plus fréquents, mais ils ne sont plus en bancs; ce sont des remplissages comme au Mont de Chamblon. Il y a également des crevasses ossifères, encore plus riches qu'au Mont de Chamblon: on y a récolté une trentaine d'espèces de Mammifères ou de reptiles qui appartiennent aux faunes successives du *Lutétien sup.* au *Ludien sup.*¹⁾.

La nature pétrographique des matériaux rappelle celle des crevasses du Mont de Chamblon; mais elle est encore plus complexe. Tantôt les crevasses sont remplies de bols rouge-vineux, à grains de fer pisolithiques ou nuciformes et gros grains de silice; tantôt d'une brèche de ces mêmes éléments et de fragments d'Urgonien ou même, par des argiles bleu de ciel, pyriteuses, sans bohrerz, ou encore, par une brèche très lourde formée de pyrite et de calcaire imprégné de bitume etc. La corrosion, également très intense, diffère de celle du Mont de Chamblon: les roches sont léviguées, comme décapées par une solution acide, tandis que vers Yverdon au contraire, elles sont imprégnées, salie par des dépôts incrustés.

Les principales stations de cette région sont:

²⁾ Voir in Paléontologie.

La carrière d'Eclépens, près de la gare. Il y a plusieurs crevasses très bien conservées. Plusieurs paraissent dues à des failles élargies. On y voit un dyke magnifique, de dimensions énormes, formé d'une brèche à bol rouge et fragments d'Urgonien. Il serait à désirer que l'exploitation respectât ce monument, qui pourrait, comme celui des carrières de Soleure, être dédié à la mémoire des savants vaudois qui ont immortalisé le Sidérolithique du Mormont.

Les gisements de Bavois, d'Entreroches, de St-Loup, de La Sarraz... pour ne citer que les principaux. En effet, tout le monticule du Mormont est altéré superficiellement par les corrosions sidérolithiques et certaines carrières sont presque inexploitables en raison de l'intensité de ces altérations ou de l'accumulation des bols et des brèches.

En dehors de ces deux régions du Mont de Chamblon et du Mormont, le Sidérolithique n'est plus représenté par aucun dépôt bien caractérisé. Il n'y a plus de gisements fossilifères et par conséquent, l'identification repose sur le caractère pétrographique des matériaux et dans l'espèce, il ne saurait être un criterium, le phénomène sidérolithique étant aussi variable dans ses effets que dans ses modes de manifestation.

Les calcaires d'eau douce à *Limnæa longiscata*, réapparaissent bien dans la région vaudoise, mais il semble assez difficile de les rattacher directement à ceux du val de Moutier.

Je ne crois pas utile de m'arrêter davantage sur ces questions. Le Sidérolithique vaudois surtout a été trop bien décrit par ceux qui l'ont étudié avant moi.

Comme je l'ai dit déjà, les crevasses du Mormont sont les dernières traces du Sidérolithique régulier dans la partie occidentale du Jura suisse. Les remplissages siliceux, ferrugineux même, qui ont été relevés plus à l'W., semblent surtout résulter du seul jeu des sources dissolvantes ou ferrugineuses et de ce fait ils appartiennent à une autre série de produits. J'ai malheureusement peu parcouru la région plus occidentale, mais les échantillons que j'ai eus entre les mains,

surtout ceux de la collection de M. le prof. Schardt, m'ont de plus en plus confirmé dans cette opinion.

Je me contenterai donc, pour compléter cette étude de résumer les idées de ceux qui ont surtout étudié cette partie du Jura.

Favre ¹⁾ déjà indiquait des poches sidérolithiques de sables siliceux au Salève. M. le prof. Schardt ²⁾ en a signalé de semblables dans la Chaîne du Reculet-Vuache :

Au-dessus de Collonges et dans le voisinage d'Ecorans
Toiry (Urgonien).

Vers Chévrier.

Vers Villeneuve.

Aux environs de Malpaz... de Serzin, de Mont-de-Mu-
siège, etc...

La formation sidérolithique dans les Alpes suisses.

La découverte du Sidérolithique alpin est relativement récente. Ph. de la Harpe ³⁾ et Renevier ⁴⁾ en font mention pour la première fois en 1853. Ph. de la Harpe surtout, dont le nom nous est cher pour ses travaux sur le Sidérolithique du Jura vaudois, indiqua plusieurs gisements dans les Alpes vaudoises. Malheureusement quelques-uns n'ont jamais été retrouvés. Depuis lors, quelques découvertes nouvelles dues aux géologues alpins ont un peu agrandi le cadre des recherches sans permettre cependant de le considérer comme bien délimité. Il est bien certain en effet, que le Sidérolithique alpin est encore plus énigmatique que celui du Jura. L'identification des matériaux y est d'ailleurs tout spéciale-

¹⁾ FAVRE : *Etudes géologiques...* 304. I.

²⁾ H. SCHARDT : *Reculet-Vuache*, B. p. 39, 41, 47, 69, 79, 82, du tirage à part.

³⁾ PH. DE LA HARPE : *De la formation sidérolithique dans les Alpes*, IV. 232. 1854.

⁴⁾ RENEVIER : *Excursion géologique à la Dent du Midi*, IV. 261 1855.

ment délicate et leur analogie avec ceux du Jura pourrait être plus superficielle que réelle.

M. le prof. Lugeon ¹⁾ a signalé tout récemment un gisement sidérolithique sur la route de la Gemmi. C'est, semble-t-il, le gisement le plus oriental des Alpes suisses. Il n'y a ni bol, ni bohnerz proprement dits, mais par contre « une roche verte très étrange injectant l'Aptien dont elle remplit les fentes ».

Peu auparavant, M. F. Jaccard ²⁾ avait fait connaître un gisement analogue à la Hornfluh.

Le véritable sidérolithique alpin, bien caractérisé est aux Dents du Midi, où il a été reconnu par de la Harpe en 1853, au-dessus du lac Célaire (ou Séleyres, lac vert). Il y existe en couche assez régulière, visible sur plusieurs points et intercalée entre le Crétacé et le Nummulitique. Il a été reconnu :

1° Au pied de la cime de l'Est (Dent Noire).

2° Au pied de la Forteresse sur l'arrête qui descend entre Soix et Chalins.

3° Au pied de la Dent du Midi, au-dessus du lac Vert.

4° Il existe vraisemblablement dans les parois de la Dent Jaune.

La roche sidérolithique est lourde, à pâte brun-foncé, rougeâtre quelquefois par oxydation et contient des grains de quartz et des pisolites de fer à structure concentrique rappelant les bohnerz. Il y a également une brèche avec fragments corrodés et polis d'Urgonien reposant sur l'Urgonien ³⁾ en banc.

Dans le Massif des Diablerets, E. Renevier a eu la bonne fortune de trouver des fossiles d'eau douce dans des calcaires accompagnant des grès ferrugineux. Le gisement

¹⁾ D'après des indications particulières que je dois à l'amabilité de M. Lugeon.

²⁾ F. JACCARD : *La région de la Brèche de la Hornfluh*. 1904.

³⁾ E. FAVRE, H. SCHARDT : *Matériaux*, 568, 581... 1887.

est à une altitude de 2700 m. à peu près. Le Sidérolithique en bancs épais de 25 à 30 cm. repose sur l'Urgonien corrodé et crevassé. Le fer est en masse amorphe, non en pisolithes. C'est une sorte de grès très ferrugineux, brunâtre ou rougeâtre recouvert de marnes à *Chara helicteres* et subordonné à un calcaire à *Limnæa longiscata*. (Grande Vire de la Dent de Morcle).

C'est à la base du Nummulitique sup., au lieu dit Mine de Houille, que se trouve ce gisement, le plus intéressant des Alpes.

Je vais mentionner rapidement quelques autres gisements, à seul titre d'en compléter l'énumération, car la plupart sont peu importants et quelques-uns même sont très douteux comme gisements sidérolithiques.

A Ecuellaz, Renevier indique une roche ferrugineuse pisolithique entre le Gault et le Nummulitique, mesurant de 1 à 4 m. d'épaisseur.

Les stations de Cordaz et du Glacier de Zanfleuron, indiquées par de la Harpe, n'ont pas été retrouvées. Quant au gisement à bolus bleu intercallé entre les bancs dolomitiques et la brèche à Echinodermes (calcaire de la Tinière), j'ai beaucoup de peine à le croire sidérolithique et en tout cas, je ne saurais souscrire à la conclusion des auteurs, qui voudraient le considérer comme le résultat d'une émission boueuse ¹⁾.

La frontière valaisanne n'est pas la limite W. de l'extension sidérolithique qui se poursuit encore à travers le Chablais, jalonnant son passage par de rares lambeaux et quelques traces disséminées.

M. Lugeon a signalé par exemple à Trévennensaz, du sidérolithique injectant le Trias ?

Plusieurs auteurs ont cru pouvoir fixer très rigoureusement la limite de dispersion du sidérolithique alpin, il me semble plus prudent d'admettre, que son aire géographi-

¹⁾ E. FAVRE, H. SCHARDT : id. p. 325. 1887.

que est plus étendue qu'elle ne le paraît a priori. L'érosion et l'intensité des bouleversements orogéniques des Alpes l'ont évidemment réduite et de plus il semble que nos documents sur ce point sont encore bien incomplets.

De cette esquisse rapide, il est possible, de dégager quelques conclusions générales qui sont du plus grand intérêt pour ces recherches.

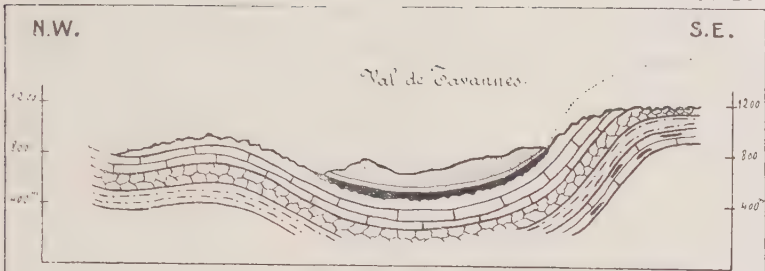
Le Sidérolithique suisse actuel est le reste, ses gisements sont les lambeaux bien réduits, des anciennes nappes qui s'étendaient primitivement sur la région jurassienne et une partie des Alpes occidentales, formant deux grands bassins, bien distincts, séparés par le Golfe du Plateau.

Ces nappes primitives étaient très étendues. Cependant aucun fait ne démontre leur continuité, pas plus dans le Jura que dans les Alpes; au contraire, nous avons le droit de supposer, que déjà alors, le relief du sol était accidenté par les premières ébauches des grands plissements jurassiens et alpins non encore réalisés.

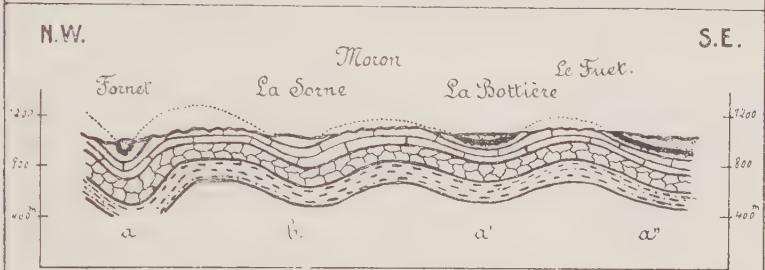
La répartition actuelle des gisements sidérolithiques résulte de ce premier fait; mais elle est surtout la conséquence des actions multiples et variées de l'érosion et de l'abrasion qui ont modelé les reliefs actuels du Jura et des Alpes, car *ce qui subsiste aujourd'hui du Sidérolithique primitif c'est exclusivement ce qui a échappé à l'érosion et à l'abrasion.*

Pour ce motif, la reconstitution paléogéographique du Sidérolithique primitif est des plus délicates: nous pouvons juger du passé par le présent, quand nous retrouvons des traces, des lambeaux, mais nous tombons en pleine hypothèse dès qu'il s'agit de régions ne possédant plus les racines des anciennes nappes et de pareilles régions ne manquent ni dans le Jura, ni dans les Alpes surtout ¹⁾.

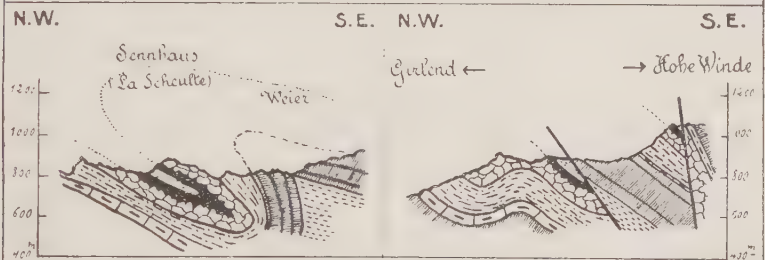
¹⁾ Plusieurs gisements sidérolithiques alpins, (comme aussi les altérations connues sous le nom de « chancre », dans le canton de Neuchâtel) se rattachent plutôt aux « produits de décalcification » (p. 27), qu'au Sidérolithique proprement dit.



Prof. 1. Lambeau siderolittique conservé par le pli synclinal: *Type régulier.*



Prof. 2. Lambeau du type régulier a a' a'' et racine d'un lambeau enlevé (b): *Type arase.*



Prof. 3a 4 Conservation spéciale des lambeaux, par plissement ou faille: *Types tectoniques*

Légende.

Quaternaire. Miocène sup. Miocène inf. Siderolittique. Port landien. Kimmeridien Séquanien.

Echelles:
Prof. 1.2. = 1 : 50000.
Prof. 3.4. = 1 : 30000.

Argovien-Rauracien. Oxfordien. Dogger.

Lias. D'après les levés de M. le Dr L. Rollier

Tous les gisements sidérolithiques actuels importants sont ceux que leur position a protégés contre la destruction, Les plissements synclinaux (fig. 1 et 2 Pl. I), certains accidents tectoniques (fig. 3 et 4) sont, en effet, les *facteurs influents* de la répartition géographique du Sidérolithique suisse actuel, tandis que l'anticlinal, le plateau (fig. 2) en sont les *facteurs restricteurs*. De là, cette distinction des gisements sidérolithiques en *types* divers, traduisant à la fois leur importance et leur origine, comme le type régulier ou synclinal (fig. 1), le type tectonique (fig. 3 et 4) ou les divers types arasés (fig. 2) plus ou moins conservés et parfois totalement détruits.

La répartition géographique actuelle est par suite fonction de deux grands facteurs :

- 1° La répartition primitive, déjà localisée et irrégulière.
- 2° L'érosion et l'abrasion postérieures.

En d'autres termes, elle traduit l'influence du relief primitif et fait ressortir le travail d'élaboration, d'évolution du modelé jurassien actuel.

LES MATÉRIAUX SIDÉROLITHIQUES

A. Le fer.

Comme leur nom seul l'indique, le fer est l'élément dominant et caractéristique des matériaux sidérolithiques, bien que certains d'entre ces derniers puissent en être totalement dépourvus, par exemple, les sables siliceux blancs, ainsi que je l'ai fait observer précédemment.

Il y existe sous des formes assez variées :

1° A l'état d'imprégnation superficielle ou profonde, colorant diversement suivant son degré d'oxydation et l'intensité de son action, les argiles, les sables, les terres réfractaires, les galets et les calcaires des terrains en contact avec lui.

2° Comme composé ferrugineux proprement dit, constituant les minerais en grains, les concrétions, les masses amorphes disséminées dans les argiles, les coulées compactes, quelquefois mamelonnées de quelques crevasses ou les conglomérats, dont il imprègne le ciment calcaire.

Le fer sidérolithique est un composé très complexe, indépendamment même de son oxydation propre : il n'est jamais pur. C'est un *sesquioxyde de fer hydraté*, de la formule générale



du groupe minéralogique de la limonite, de la variété des hématites brunes. Sa dureté est excessivement variable, suivant les composés ; très faible dans les ocre, elle peut atteindre près de 6 dans les combinaisons silicatées. Il en est de même pour sa densité : toutefois, plusieurs minerais

n'ont donné 3,7 (Delémont, Candern). Il est en général sans action sur la boussole et son pouvoir magnétique, d'ailleurs très faible et très rare, est dû à d'autres composés. Des analyses assez précises et quelques essais n'y ont pas révélé la présence des matières radio-actives.

Il est connu depuis longtemps déjà et les minéralogistes lui ont donné différents noms, à savoir :

Minera ferri subaquosa globosa des Anciens.

Fer oxydé rubigineux globuliforme de Häuy.

Fer pisiforme de Brongniart, de Thirria, de Voltz...

Limonite oolithique de Beudant.

Minerai d'alluvion de quelques auteurs.

Hydrate de fer globulaire de Cordier.

Minerai de fer en grains...

La mine, la mine de fer des mineurs jurassiens ¹⁾.

Fer pisolithique des modernes.

Fer sidérolithique de Thurmann.

Bohnerz de Brochant, de Mérian.

Erbsenerz, rundeserz de quelques auteurs.

Pea-Iron stone, pisiform-clay... des Anglais.

Etc... etc...

Il a été confondu avec les minerais d'alluvion, avec ceux des lacs, des marais, (Sumpferz, Morasterz), des prairies (Wiesenerz) et aussi avec les minerais oolithiques des terrains secondaires (Toarcien), désignés sous le nom de « minettes » ²⁾.

Aujourd'hui, c'est exclusivement le minerai de fer en grains, pisolithique ou sidérolithique et plus généralement en Suisse et en Allemagne, le bohnerz.

¹⁾ Cette appellation populaire de « mine » est assez curieuse, d'autant plus que pour les minerais oolithiques, à grains plus petits, existe celle de « minette ». Ces expressions n'ont été qu'assez rarement utilisées par les auteurs.

²⁾ La minette oolithique n'a aucun rapprochement possible avec la roche de ce nom des Vosges ou de l'Oldenwald, qui est une variété de syénite micacée.

1. Aspect et structure des Minerais.

Si les bohnerz caractérisent la formation sidérolithique, le fer ne s'y trouve pas cependant nécessairement à l'état de pisolithes, mais encore très fréquemment en masses, de formes, de dimensions très variables, conservant quelquefois certaines analogies avec l'état pisolithique, ou bien au contraire, très concrétionnées ou même nettement compactes.

Le fer pisolithique, comme l'indique son nom (bohnerz), se présente en grains globuleux, arrondis et polis, isolés, de dimensions très variables. Le Dr Greppin dit fort à propos à ce sujet, que « les grains de fer sont miliaires, pisaires et même ovaires »¹⁾. Il aurait pu même ajouter encore « céphalaires », puisque dans quelques cas, d'ailleurs très rares, ils atteignent des dimensions considérables. On en a signalé quelques-uns qui mesureraient plusieurs décimètres de diamètre. Je possède un échantillon, trouvé dans les mines de Delémont et qui pèse 2895 gr. Il n'est pas très régulier : son plus petit diamètre n'est cependant pas inférieur à 11 cm.

Pour l'ordinaire, les grains ont la taille d'un pois commun, leur diamètre variant entre quelques millimètres et 1 cm. Cependant très souvent, ils sont plus petits, à peine visibles à l'œil nu, ou bien au contraire, ils sont beaucoup plus gros, nuciformes par exemple.

Il n'y a aucune régularité constante à ce point de vue ; c'est à peine s'il est possible de reconnaître quelque trace d'uniformité dans la sédimentation des pisolithes et encore faut-il toujours admettre de très nombreuses exceptions. Ainsi par exemple, au puits Blancherie, à Delémont, on voit des bancs de plusieurs mètres de longueur dont les pisolithes, très régulières, ont à peu près toutes les mêmes dimensions ; mais très fréquemment, on y trouve, isolées, d'autres pisolithes beaucoup plus grandes.

Lorsqu'elles sont fraîchement extraites des bols et

¹⁾ Dr J. B. GREPPIN : *Matériaux*, p. 153. 1870.

qu'elles n'ont pas subi l'action des agents atmosphériques, les pisolithes sont brillantes, leur surface très lisse est comme recouverte d'un vernis luisant, à reflets gras et onctueux dont la teinte, liée à celle des bols, varie peu, du jaune-foncé au rouge-brun. Les pisolithes enclavées dans les calcaires ou dans le ciment des conglomérats ne présentent pas ces colorations ; leur surface est noire métallique, brillante et lisse. D'ailleurs, ces colorations sont très délicates et disparaissent rapidement à la lumière ou par la dessiccation. La surface devient alors terne, sombre, sans reflet et c'est à peine si le frottement peut lui rendre un certain brillant.

Quant à la forme, les pisolithes sont ordinairement à peu près sphériques. Souvent cependant, elles sont un peu aplaties ou allongées ; plus rarement, elles sont lenticulaires. Dans quelques cas, elles sont encore plus irrégulières, leur surface est recouverte de tubercules ou très diversement déformée : mais ce sont alors des effets mécaniques ordinairement dus à la pression ou à des phénomènes de remaniement. Très souvent aussi, plusieurs grains soudés ensemble et recouverts d'une enveloppe commune, n'en forment plus qu'un seul, mais ce n'est plus alors une pisolithe, mais un véritable agglomérat.

En effet, ce n'est pas aux dimensions, ni même à la forme, puisque, dans un cas comme dans l'autre, des variations sont possibles, mais à la structure interne, qu'il faut reconnaître les pisolithes sidérolithiques.

L'examen macroscopique, à l'œil nu, ou seulement à la loupe, sur une coupe choisie, obtenue par polissage ou seulement par une bonne cassure au marteau, montre deux parties très distinctes :

1° Une enveloppe.

2° Un noyau ou masse centrale.

L'enveloppe de toute pisolithe régulière et non altérée apparaît comme un emboîtement de couches minces, continues et concentriques, à cassure noire, à reflets métalliques, quelquefois légèrement irisés.

Son épaisseur varie beaucoup d'un grain à un autre. En général, son volume est plus grand que celui du noyau. Un géologue de grande valeur, trop tôt enlevé aux admirables travaux qu'il avait commencés et que j'ai suivi dans cette partie de mon étude, M. le prof. Bleicher ¹⁾, de Nancy, évaluait le rapport des volumes de l'enveloppe et du noyau à $\frac{3}{1}$, pour une pisolithe du plateau de Feneyrols (Tarn-et-Garonne). Sur les échantillons que j'ai examinés, près de 250, et provenant la plupart du Jura suisse, j'ai rencontré fréquemment ces mêmes nombres, mais assez souvent aussi les proportions $3\frac{1}{2}/1$, $4/1$, $4\frac{1}{2}/1$, et même $5/1$, tandis que $2\frac{1}{2}/1$ ou $2/1$ sont beaucoup plus rares. Je n'ai constaté que deux cas donnant $1/1$. Ces déterminations ²⁾ sont très délicates et n'ont d'ailleurs pas très grande importance. Elles ont toutes porté sur des échantillons réguliers et bien conservés, à surface polie et intacte. Suivant les pisolithes examinées, l'enveloppe se présente différemment. Ordinairement, on voit assez nettement l'emboîtement des couches et leur délimitation réciproque, tandis que dans certains cas, pas très rares, ces distinctions zonaires sont imperceptibles : les couches paraissent comme soudées les unes aux autres, en quelque sorte anastomosées, totalement ou en partie seulement.

Lorsque les zones sont distinctes, une bonne cassure au marteau suffit pour les séparer. On obtient alors toute une série de fragments en calottes d'épaisseur très variable,

¹⁾ Je n'ai malheureusement pas connu M. Bleicher, mort en 1901; mais grâce à l'amabilité de Madame Bleicher, j'ai pu me mettre au courant des idées et des travaux du savant et regretté professeur de Nancy. Je me fais un devoir d'exprimer ici à Madame Bleicher, toute ma gratitude bien sincère.

²⁾ La méthode que j'ai suivie pour ces déterminations peut se résumer ainsi : briser délicatement la pisolithe dans un mortier en acier poli, afin de n'en pas perdre ; séparer le noyau de l'enveloppe et mesurer successivement le volume de chaque partie par immersion dans un tube gradué rempli d'eau distillée. Il est nécessaire d'avoir une certaine habitude pour bien réussir dans la séparation du noyau et de l'enveloppe : quand cette séparation n'est pas facile, on rejette l'échantillon, pour en examiner un autre.

mais ordinairement constante pour chaque fragment d'une même couche. La calotte est limitée par deux surfaces lisses, brillantes, polies, aussi bien du côté interne que du côté externe. C'est à une disposition analogue, plus exagérée si l'on veut, que sont dues certaines formes, d'ailleurs très rares, (je n'en ai jamais trouvé moi-même), qui rappellent beaucoup l'aétite (pierre d'aigle): la pisolithe renferme un noyau libre dans l'enveloppe. A l'œil nu ou même encore à la loupe, l'enveloppe apparaît souvent comme formée par une composition homogène: on n'y distingue pas de dissimilation de texture, du moins dans les cas de bonne conservation. Mais si l'on pousse les investigations plus avant, par des coupes minces, faites à même la pisolithe ou sur une pisolithe traitée préalablement par l'acide chloryhdrique à la longue, puis par l'eau régale, on obtient des renseignements plus précis.

Les coupes minces sont particulièrement utiles dans les cas où l'écorce est soudée en une grosse couche, à peu près unique, ou encore lorsque les zones corticales distinctes semblent disparaître par une atténuation progressive, car elles permettent de relever la structure cachée des zones. Ces coupes sont très fragiles, rarement assez étendues et il est préférable de recourir à celles obtenues sur des pisolithes traitées par les acides.

Comme son nom l'indique, le noyau comprend la partie centrale, interne de la pisolithe. Il ne saurait être confondu avec l'écorce, car il est homogène, ne présente pas de couches ou de zones concentriques. Sa coloration est analogue à celle des couches de l'écorce des échantillons bien conservés. Par suite d'altération due aux actions atmosphériques, il devient rouge-ocreux, souvent très différent des zones corticales, dont il se sépare plus facilement, lorsque cette altération n'est pas trop profonde. Il est limité par une surface, polie, peu brillante. La cassure est presque toujours terreuse; du moins, elle est bien différente de celle des couches.

Bleicher ¹⁾ a donné une excellente méthode d'étude des

¹⁾ BLEICHER: *Le minéral de fer de Meurthe et Moselle*: Bull. Soc. industr. de l'Est, 1894.

pisolithes. On laisse digérer durant plusieurs jours un certain nombre de pisolithes très régulières et bien conservées, parfaitement nettoyées de leur gangue, dans de l'acide chlorhydrique ordinaire. Au bout de deux ou trois jours, on enlève la liqueur devenue jaune-brun-claire et on lave très délicatement les pisolithes sur un filtre, avec de l'eau distillée. Les pisolithes sont moins dures, leur surface est totalement blanche. On recommence la même opération avec l'eau régale que l'on fait agir jusqu'à ce que la pisolithe soit complètement ramollie. Ce résultat obtenu, il ne reste plus qu'à laver les pisolithes, à les sécher légèrement à l'étuve et à les plonger dans la paraffine fondue. Ces opérations pour donner de bons résultats demandent beaucoup de soins et une certaine habitude opératoire. Il faut surtout éviter de plonger les pisolithes non desséchées dans la paraffine trop chaude : 55 à 60° donnent un bain excellent, à la condition que l'action dure quelques heures.

Il ne reste plus alors qu'à débiter le bloc refroidi de paraffine, soit au rasoir, soit au microtôme. Les coupes sont excessivement délicates et il faut être très prudent dans l'emploi des réactifs qui enlèveront la paraffine.

Les acides employés dans ces traitements dissolvent le fer, l'alumine et l'acide phosphorique qui se retrouvent dans les liqueurs, comme l'a signalé déjà le prof. Schlagenhauffen. La pisolithe se trouve ainsi réduite à un squelette siliceux dont les coupes montrent dans l'écorce « une alternance de couches minces hyalines et de couches grenues, nuageuses, dans lesquelles on retrouve les bâtonnets » orientés suivant la direction de celles-ci. Ces bâtonnets énigmatiques, que je n'ai jamais parfaitement reconnus, étaient considérés par M. Bleicher comme des empreintes de bactéries. J'ai cependant retrouvé ces formes dans quelques cas, mais pour l'instant, il m'est impossible d'être affirmatif sur ce point ; des recherches complémentaires concernant d'autres formations analogues sont encore nécessaires ¹⁾. Toutefois,

¹⁾ J'ai déjà commencé ces études sur les oolithes calcaires du Bajocien

sans repousser a priori, l'opinion de M. Bleicher, qui me paraît même très soutenable, il me semble qu'il faut plutôt attribuer ces bâtonnets à des actions mécaniques de retrait, ou les considérer comme de simples sculptures dues aux processus même de formation. Sans doute, la présence d'algues dans les pisolithes expliquerait très bien leur richesse en acide phosphorique, mais alors, il faudrait pouvoir reconnaître une certaine relation entre la teneur exagérée en P_2O_5 et l'abondance des bâtonnets. Or, rien de semblable n'a encore été constaté, je crois. C'est dans cette direction que des études sont encore à poursuivre.

De ces observations micrographiques et chimiques ressort un premier fait important : l'identité de composition de la pisolithe. La distinction de l'écorce d'avec la masse centrale ne repose que sur le mode d'arrangement des éléments, lesquels sont en couches concentriques dans l'une, grossièrement agglomérés et sans ordre dans l'autre. D'un côté, les éléments paraissent triés et choisis, très régulièrement disposés : de l'autre ils sont plus grossiers, plus gros, mélangés, mais dans les deux cas, les différences paraissent plutôt quantitatives que qualitatives. Et encore, ces distinctions morphologiques sont-elles quelquefois en défaut, puisque M. Bleicher a observé dans un cas « une ébauche en arc isolé dans la masse ocreuse » et aussi des remplissages par de la calcite cristallisée dans des fissures de retrait de la surface fendillée et crevassée du noyau.

Un second fait non moins important et sur lequel on ne saurait trop insister, c'est l'absence dans les pisolithes, d'un corps central ou centre d'attraction recouvert de couches corticales concentriques. Toujours, le fer paraît reposer sur un squelette siliceux, zoné, qui en est le support fondamental.

A la pisolithe, telle qu'elle vient d'être décrite, se rat-

(Oolithe ferrugineuse), de l'Eningien, etc... Elles feront l'objet de communications spéciales. M. Choffat m'a communiqué des formations très comparables et recueillies en Portugal.

tachent d'autres formes, très voisines, moins régulières, plus complexes. Ce sont bien encore des grains, si l'on n'envisage que la forme; mais des grains à structure très spéciale. Tantôt une bonne cassure les montre fortement pressés les uns contre les autres; tantôt au contraire, ils sont unis entre eux par un ciment ferrugineux, terreux, amorphe; mais toujours, dans un cas comme dans l'autre, la masse est entourée d'une enveloppe continue, zonée, dure, qui joue le rôle de l'écorce de la pisolithe simple, J'appelle ces formes des *agglomérats*, ne voulant les confondre ni avec les *bohrerz* ou *pisolithes*, ni avec les *conglomérats* très souvent calcaires, ni avec les *masses amorphes* ou *concretionnées*.

Etudiés rapidement, les agglomérats se présentent comme de grosses pisolithes, irrégulières à peine, dans les cas les plus simples. Leur surface est lisse, brillante, mais très souvent tuberculeuse, mamelonnée. Dans les cas complexes, elle peut revêtir les aspects les plus curieux et les plus variés, mais toujours ses contours sont arrondis, adoucis tout au moins; les arêtes vives témoignent d'une cassure.

L'écorce, comme je l'ai fait observer déjà, est continuë. Comme chez la pisolithe, elle est formée de toute une série de couches très minces, feuilletées, étroitement accolées entre elles. L'union de ces couches est quelquefois si intime, que l'ensemble constitue une zone en apparence très compacte et homogène, mais qu'il est facile de reconnaître par une coupe mince. Cette écorce est tantôt noire brillante, à reflets métalliques, souvent irisée par place, tantôt terne, ou même ocreuse; mais elle est toujours très résistante et très dure.

L'enveloppe entourant toute la masse se trouve en contact, de ce fait, tantôt avec les pisolithes, tantôt avec le ciment; dans le premier cas, les couches de l'écorce générale de l'agglomérat se confondent avec celles des pisolithes, à tel point que souvent la distinction est impossible, même à la loupe.

Le ciment est formé par une roche d'aspect également très variable. Ordinairement, il est absolument amorphe, ne présentant aucune trace de couches ou de feuilletés, quelquefois compact, dur, noir, brillant, à éclat métallique, à reflet

irisé; sa cassure est tantôt esquilleuse, franche ou terreuse, suivant la roche, qui est elle-même, tantôt homogène, tantôt très hétérogène, passant souvent en partie à des ocre plus ou moins friables. Fraichement extraits des bols, les agglomérats présentent beaucoup d'analogie avec les pisolithes comme coloration ou dureté, mais, comme pour ces dernières, les agents atmosphériques les attaquent fortement.

Nous avons vu que, dans certains cas, pas très fréquents, ce ciment peut faire défaut; les pisolithes sont alors directement soudées entre elles et ce sont leurs couches extérieures qui font la soudure remplaçant le ciment. Il s'ensuit nécessairement des déformations plus ou moins considérables. Dans ce cas, l'enveloppe de l'agglomérat est moins développée. Il est vrai qu'en raison de la soudure plus grande des pisolithes, elle n'a pas besoin d'être aussi forte.

Les pisolithes enclavées dans les agglomérats sont ordinairement analogues à celles qui sont isolées dans les bols; toutefois, très fréquemment, elles en diffèrent, par leur noyau plus gros, leur écorce plus homogène et moins zonée; mais peut-être, faut-il attribuer ce dernier fait à une meilleure conservation de la pisolithe. Les coupes minces que j'ai faites, sont en général, très comparables à celles des pisolithes.

La forme des agglomérats n'a rien de régulier. Lorsque le ciment est assez abondant pour englober les pisolithes, l'agglomérat tend vers la sphère régulière ou légèrement déformée et si alors, il possède son enveloppe particulière, dure et brillante, il a absolument l'aspect d'une grosse pisolithe et seule la cassure peut en déceler l'hétérogénéité. Toutefois, ce cas ne se rencontre que rarement; les formes régulières ne se conservent que difficilement, car, par suite de l'hétérogénéité de la masse, les agents mécaniques et surtout l'érosion, décomposent ou altèrent les parties tendres ou moins bien protégées. D'ailleurs, rien n'autorise à soutenir que l'hétérogénéité de la masse interne des agglomérats soit nécessairement le résultat d'altération: elle peut fort bien être naturelle. En brisant certaines de ces pseudo-pisolithes, j'ai observé souvent, sous une enveloppe *en appa-*

rence continue et intacte, une masse interne fortement altérée, comme aussi le fait contraire.

Si le ciment fait défaut, ou même s'il manque totalement, l'agglomérat est encore plus irrégulier. Il rappelle quelquefois une grappe de raisin dont les grains sont fortement accolés. Nécessairement alors, on peut observer quelques altérations morphologiques de contact, mais cependant rares.

Il arrive dans certains cas, que ces formes si diverses se réunissent en un banc, assez étendu et très résistant. Quiquerez¹⁾ dit que vers Courroux (Grossefin), un de ces bancs mesurant plus de 40 pieds de longueur, sur 3 à 5 d'épaisseur, a dû être attaqué à la dynamite.

Les mineurs considèrent les gros agglomérats plus ou moins sphéroïdaux comme des indices de la fin de la couche du minéral ou aussi, comme annonçant le développement brusque d'une nouvelle couche. Et Quiquerez encore prétend que l'observation les confirme souvent !... Pour ce motif les mineurs jurassiens les appellent des « Mères » ou « Mutter ».

Plus l'agglomérat est homogène, plus la cassure est régulière, anguleuse, esquilleuse quelquefois et plus la masse est dure et résistante. La couleur est alors gris de fer, à reflets métalliques, quelquefois brunâtre ou noirâtre. Dans le cas d'une pâte hétérogène, la cassure est irrégulière, la dureté variable et la coloration plus vive, rougeâtre, jaunâtre, rouge vif même. La masse est facilement altérée, partiellement du moins; elle paraît rougie, rouillée.

La présence des pisolithes dans le ciment ne semble pas nuire à l'homogénéité de l'agglomérat, du moins lorsque ce dernier n'est pas altéré. Il y a en effet, entre lui et la surface de la pisolithe une liaison si intime, que la cassure, au lieu de produire un simple décollement, brise plutôt la pisolithe. Lorsque l'agglomérat est altéré au contraire, le choc isole les pisolithes, presque sans les briser.

Si on examine maintenant le ciment seul des agglomé-

¹⁾ QUIQUEREZ : *Le terrain sidérolithique du Jura bernois*, p. 52, 1852.

rats, il apparaît le plus souvent comme une pâte peu homogène, il est presque toujours caverneux, souvent formé d'une série de lits minces et superposés, de dureté différente. L'action lente des acides sur une surface polie fait surtout ressortir nettement ces faits. Au microscope, on y distingue bien souvent des canalisations très petites, mais très nombreuses, ce qui justifie d'autant plus son attribution aux concrétions formées par les eaux en circulation lente. Je possède des échantillons où la pâte formant le ciment est absolument en feuillets très minces et très plissés.

Il n'est pas rare de rencontrer des pisolithes de fer assez régulières, assez brillantes, compactes et sans structure concentrique. Cette forme très fréquente dans certains dépôts (conglomérat de Soulee, crevasses du Mont de Chamblon...), peut résulter du ciment des agglomérats brisés et c'est pourquoi, d'une façon générale, je crois pouvoir la considérer, comme indiquant un remaniement, une remise en mouvement mécanique. De semblables pisolithes sont en général rares dans les dépôts sidérolithiques en place.

A côté de tous ces matériaux si divers, il faut encore placer certaines formes très particulières assez peu fréquentes.

Ce sont d'abord les pseudo-morphoses du sulfure de fer en sesquioxyde, avec conservation de la forme cubique, souvent à peine altérée. Je n'en possède malheureusement que quelques échantillons, provenant d'une ancienne exploitation au S.-E. de Mervelier dans la vallée de Delémont. Quoique moins nettes que les pseudo-morphoses de la pyrite de la craie du bassin de Paris, celles des dépôts sidérolithiques ne sont pas moins intéressantes. On pourrait se demander si ce phénomène n'a pas été très fréquent durant la sédimentation sidérolithique ?... La rareté des pseudo-morphoses bien conservées n'entraîne pas nécessairement celle des phénomènes qui les ont produites.

On trouve également quelquefois des pisolithes plus ou moins régulières dont une ou plusieurs des couches internes se sont altérées et désagrégées et qui, par suite, contiennent une sorte de noyau libre, mais enfermé par l'enveloppe primitive. On les appelle bien à tort « pierres d'aigles ».

Enfin, d'autres formes plus irrégulières, en coulées amorphes, stalactiformes, en tubes, etc., sont assez fréquentes dans certains gisements. Quiquerez leur attribuaient une grande importance dans son hypothèse semi-éruptive. On peut les considérer comme dues à une précipitation des sels de fer dissous par des eaux superficielles.

En résumé, ces études sur la structure des minerais de fers en grains montrent une grande analogie entre les fers pisolithiques d'une part et les autres formations oolithiques ou pisolithiques ferrugineuses et calcaires. Elles établissent en outre, comme absolument démontrée, la structure du minéral, formé par un noyau et une enveloppe.

Le noyau est une masse amorphe servant de support aux couches : il est compact, sans couche concentrique en règle générale. Il est formé essentiellement d'une substance riche en grains très fins de silice et n'est pas comme on l'a soutenu, un débris d'organisme, formant centre d'attraction. Sa composition diffère peu de celle des couches de l'enveloppe.

L'enveloppe est formée au contraire, de couches concentriques assez régulières, riches en silice. Sa régularité montre que la formation n'est pas due au roulement, mais que l'attraction moléculaire s'est manifestée très régulièrement pour toute la pisolithe.

Les fers sidérolithiques non en grains diffèrent peu des formes types : ce sont des agrégats ou surtout des résultats de précipitation par voie humide.

2. *Composition chimique.*

Quel que soit son état pétrographique : pisolithes à structure concentrique, masse amorphe ou concrétionnée, le fer sidérolithique est toujours un produit de composition très complexe. A une forte proportion d'hydroxyde de fer, s'allient toujours d'autres composés, dont quelques-uns se rencontrent constamment dans presque toutes les analyses, tandis que d'autres, plus rares, ne sont qu'exceptionnels et paraissent

locaux. Cette distinction, il est vrai, repose sur un caractère plutôt négatif, l'ignorance où nos sommes des proportions exactes des éléments à l'état de traces ou dont la teneur est très faible dans ces composés naturels. Les derniers travaux chimiques et micrographiques sur les alliages ont particulièrement fait ressortir l'importance des recherches de cet ordre; mais il semble que jusqu'ici on ne s'en soit pas beaucoup préoccupé en métallogénie, bien que quelques travaux récents aient été publiés déjà cependant dans cette direction ¹⁾. Toutefois, il faut bien reconnaître, qu'il est plus facile de signaler l'écueil que de l'éviter, particulièrement pour ce qui concerne les minerais en grains. Pour l'ordinaire, les analyses chimiques ne sont pas poussées assez loin.

Il se peut donc, qu'un certain nombre d'éléments ou de leurs composés considérés jusqu'ici comme exceptionnels dans les combinaisons ferrugineuses y soient au contraire, à l'état constant.

Mais avant de commencer une discussion sur la composition chimique des bohrerz et sur le rôle des combinaisons diverses qui les constituent, il est nécessaire de fixer les idées par l'examen de quelques analyses. J'en ai groupé un certain nombre dans le tableau qui suit :

¹⁾ DE LAUNAY : *Le rôle du Titane en Géologie*, A. Mines, p. 49, 1903.

Analyses chimiques des bohnertz.

PROVENANCE		Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	CaO	MgO	H ₂ SO ₄	P ₂ O ₅	P. aut.	Divers	Total	Nature du minéral	Analysé par :
1.	Cher : St-Martin-d'Aurigny	69,00	18,60			Tr.			Tr.	12,00		99,60	en grain	Bureau de l'Ecole des Mines (3) ¹⁾
2.	Cher : Bourges	67,50	17,00					0,06	0,30	14,50		99,36	»	» (2)
3.	Loir-et-Cher : La Petite-Peselière .	66,66	24,00					0,30	Tr.	9,00		99,96	»	» (2)
4.	Cher : Chanteloup	65,00	20,00			Tr.	Tr.	0,10	0,20	14,30		99,60	»	» (22)
5.	Tarn-et-Garonne : La Garrigue . .	64,00	15,80 5,00					Tr.	0,30	14,60		99,70	»	» (6)
6.	Cher : Breteuil	63,00	23,33						0,33	13,33		99,99	»	» (15)
7.	Tarn-et-Garonne : Ponsiniès . . .	62,00	17,00 5,30					Tr.	0,38	15,00		99,68	»	» (7)
8.	Jura bernois : Delémont	60,61	11,69 14,89			0,29			0,22	12,27		99,97	»	Labor. de Choixdez (prof. Schmidt) ²⁾
9.	Vienne : Ulrich	60,50	11,60	10,80		0,50	0,15	0,07	0,06	16,00		99,68	»	Bureau de l'Ecole des Mines (4)
10.	Jura bernois : Envelier-Elai . . .	60,47	13,47 14,42		Tr.	0,36		Tr.	0,26	10,82	Tr., Cr.	99,83	»	E. Fleury
11.	Jura bernois : Delémont	60,33	14,79 14,66			0,23			0,19	9,48		99,67	»	Labor. de Choixdez (prof. Schmidt) ²⁾
12.	Tarn-et-Garonne : Brassac	60,16	28,00 6,00					0,11	0,25	5,33		99,85	»	Bureau de l'Ecole des Mines (1)
13.	Cher : Chanteloup	60,00	22,50			2,00		0,25	0,40	14,40		99,55	»	» (21)
14.	Cher : Saule	60,00	12,00			8,60		0,30	0,40	18,30		99,50	»	» (30)
15.	Loiret : Montargis	58,86	28,66			0,50	Tr.	Tr.	0,04	11,66		99,52	»	» (1)
16.	Doubs : Méchottes	58,20	23,30 5,00						Tr.	13,30		99,80	»	» (12)
17.	Cher : St-Florent	57,30	23,40					Tr.	0,30	18,60		99,80	»	» (16)
18.	Cher : Dun-le-Roy	57,00	25,00			3,80		0,06	Tr.	13,50		99,38	»	» (31)
19.	Vienne : Journet	56,50	16,00 13,10			0,50	0,10	0,08	0,09	13,00		99,67	»	» (3)
20.	Doubs : Les Feuillées	54,10	20,00	9,90		3,30		0,20	0,30	12,00		99,80	»	» (15)
21.	Tarn-et-Garonne : Bruniqnel . . .	53,23	14,33 16,00			1,23	Tr.		Tr.	14,67		99,66	»	» (5)
22.	Vienne : Villersalem	52,00	18,00 16,50			0,60	0,15	0,10	0,05	12,30		99,76	»	» (6)
23.	Cher : Bois de la Garenne	50,86	11,40	22,52		Tr.	Tr.	0,08	0,32	14,60		99,78	»	» (20)

¹⁾ A. CANNON. *Minerais de fer de la France* : Ann. des Mines, 1906-07. — Les nombres entre parenthèses correspondent à ceux du mémoire de M. Cannod.

²⁾ Indiquées par M. le Prof. C. Schmidt de Bâle.

Analyses chimiques des bohnerz (Suite).

PROVENANCE										Divers	Total	Nature du minéral	Analysé par
Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	H ₂ SO ₄	P ₂ O ₅	P. au f.					
24. Tarn-et-Garonne : St-Antonin . . .	40,72	23,30	14,60			0,08	0,01	11,95		39,67		Bureau de l'Ecole des Mines (5)	
25. Doubs : Audincourt . . .	47,76	23,30	13,00	0,96	0,33	0,10	0,06	13,66		93,43			(11)
26. Doubs : Les Echelles . . .	47,00	39,00	3,60			0,20	Tr.	10,00		99,80			(14)
27. Cher : Mehun s'Yèvre . . .	46,00	27,40		2,50	0,10		Tr.	14,00		100,00			(9)
28. Cher : Bourges . . .	46,00	37,40		2,50		0,10	Tr.	14,00		99,36			(1)
29. Cher : St-Martin-d'Angigny . . .	45,00	33,00	11,60	Tr.			Tr.	10,30		99,90			(4)
30. Doubs : Bois-Lacombe . . .	44,60	35,00	6,40	Tr.			Tr.	14,00		100,00			(16)
31. Tarn-et-Garonne : Caylus . . .	43,00	36,67	8,33	0,67	0,33		0,37	10,33		99,70			(4)
32. Hof : (Bavière) . . .	42,53	13,9	10,25	0,34	0,59	n.dos.	0,41	n.dos.		—		Ph. Moulan (1)	
33. Cher : Mazamet . . .	42,50	18,60		16,00		0,39	0,70	21,50		99,60		Bureau de l'Ecole des Mines (28)	
34. Jura Jernois : Vernes . . .	40,11	31,27	13,32	Tr.	0,47	Tr.	0,01	14,64		99,52		E. Fleury	
35. Russie : Kertsch (Crimée) . . .	39,40	18,5	2 à 5	1-1,25	1-1,25	n.dos.	1,15	16,35		—		Ph. Moulan	
36. Russie : . . .	37,40	18,5	id.	3,40	id.	id.	0,37	15,00		—		Ph. Moulan	
37. Cher : Notre-D . . .	35,50	54,40				0,30	1,00	8,00		99,80		Bureau de l'Ecole des Mines (12)	
38. Cher : Sancerres . . .	33,30	65,30				0,10	Tr.	10,00		99,20			(34)
39. Cher : Cuffy-le-Guclin . . .	30,30	9,00		30,50			Tr.	30,00		99,80			(32)
40. Hesse rhénane : Weisberg . . .	29,40	38,7	6,34	0,35	0,13		0,06	10,8		—		Ph. Moulan	
41. Hesse : Munsterheim . . .	26,00	25,8	11,70	5,00	2,23		0,13	14,7	Ti.	—		Ph. Moulan	
42. Cher : Cuffy-le-Guclin . . .	24,30	10,10	10,50	25,60			0,35	28,60		99,40		Bureau de l'Ecole des Mines (33)	
43. Cher : St-Martin . . .	23,00	70,00						7,00		100,00			(8)
44. Suisse : Goumoens-le-Jux (Vaud) . . .	15,91	55,32	20,52	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	7,93	Bism	99,76		Prof. H. Schardt (1)	
45. Suisse : . . .	15,79	53,80	21,85	Tr.	Tr.	Tr.	Tr.	8,32	id.	99,83			

¹⁾ Ph. MOULAN. *Origine et formation des minerais de fer* : p. 84, 85, 1904.

²⁾ Analyses faites au laboratoire du Polytechnicum fédéral et communiquées par M. Schardt.

Je me fais un devoir d'exprimer ici toute ma gratitude à M. A. Carnot, pour les excellentes directions qu'il m'a données au sujet de ces analyses et la bienveillance qu'il m'a toujours accordée, particulièrement durant mon séjour à Paris.

Constatons immédiatement et une fois pour toutes, qu'il importe d'être prudent dans l'interprétation de ces analyses, dont la plupart ont été faites dans un but industriel. En règle générale, elles sont peu précises et pour certains éléments qui n'existent dans les composés sidérolithiques qu'à l'état de traces, elles sont absolument insuffisantes. Toutefois, je crois qu'il est possible d'en dégager quelques considérations générales, qui ne manquent pas d'intérêt.

Et d'abord, elles montrent, très nettement et à priori, la complexité et la variabilité de composition des matériaux ferrugineux de ces formations. En effet, nous pouvons de suite établir une classification par ordre d'importance, des éléments qui entrent en jeu ; classification basée sur la fréquence de ces éléments dans les 45 analyses reproduites plus haut (p. 96 et 97).

Le fer ($\text{Fe}_2 \text{O}_3$)	a été reconnu 45 fois	} 100 %
La silice (Si O_2)	» » 45 »	
L'alumine ($\text{Al}_2 \text{O}_3$)	» » 45 »	
L'acide phosphor. ($\text{P}_2 \text{O}_5$)	» » 43 »	
La chaux (Ca O)	» » 32 »	
L'acide sulfurique ($\text{H}_2 \text{S O}_4$)	» » 31 »	
La magnésie (Mg O)	» » 17 »	
Le manganèse ($\text{Mn}_3 \text{O}_4$)	» » 9 »	

etc...

Les fers sidérolithiques apparaissent bien ainsi comme des composés essentiellement constitués par le sesquioxyde de fer, la silice et l'alumine, auxquels s'ajoutent, presque toujours, l'acide phosphorique et moins régulièrement peut-être, quelques autres éléments. On peut les envisager comme des produits, de composition variable, mais à base constante de silico-aluminate de fer.

Les éléments importants sont donc bien l'oxyde de fer, la silice, l'alumine et aussi l'acide phosphorique. On les rencontre toujours, en proportions variables sans doute, mais du moins, leur présence reste constante et c'est précisément ce qui les distingue des autres éléments : la chaux, l'acide sulfurique, la magnésie, les oxydes de manganèse d'abord, puis

le titane, le vanadium, l'arsenic, le zinc, etc... qui sont des éléments locaux et plus irréguliers, ce qui d'ailleurs n'enlève rien à leur importance relative. La grande variabilité des produits sidérolithiques est justement la conséquence de ce double fait: instabilité des éléments constants (fer, silice, alumine, acide phosphorique) et rôle irrégulier, sporadique, des autres éléments (éléments locaux).

L'oxyde de fer. Le fer des bohrerz est toujours très oxydé: il existe le plus souvent sous forme de sesquioxyde hydraté: $2 (\text{Fe}_2 \text{O}_3, 3 \text{H}_2 \text{O})$. Exceptionnellement, il forme des sulfures et des silicates. Les sulfures sont le plus souvent altérés ¹⁾ et se reconnaissent aux pseudomorphoses de la pyrite en sesquioxyde ferrique. Les silicates, assez rares, du moins en Suisse, peuvent expliquer les propriétés magnétiques de certains bohrerz.

Dans quelques cas, la composition des bohrerz se rapproche de celle de la chamoisite ou de celle de la berthierite, mais en raison de leur extrême variabilité, il est impossible d'assigner à ces produits une position déterminée dans les classifications minéralogiques.

Les bohrerz sont toujours hydratés. La perte au feu varie de 5,33 % à 30 % (Analyses N° 12 et 39).

Leur teneur en fer est également variable: elle oscille entre 16 % et 69 % ²⁾.

La silice et l'alumine. Leur rôle n'est pas très connu: il semble purement mécanique: servir de support au fer et former le squelette des composés ferrugineux, comme le montre l'étude microscopique des bohrerz. Ainsi que je l'ai fait observer, les silicates de fer sont une exception: d'ordinaire la silice est en grains irréguliers ou en zones transparentes.

¹⁾ Il y a naturellement de nombreuses exceptions, sans parler même des bols qui sont colorés en vert.

²⁾ Ce pourcentage est donné pour $\text{Fe}_2 \text{O}_3$; on calculerait le fer par la formule $0,70 = \frac{2 \text{ Fe}}{\text{Fe}_2 \text{O}_3}$

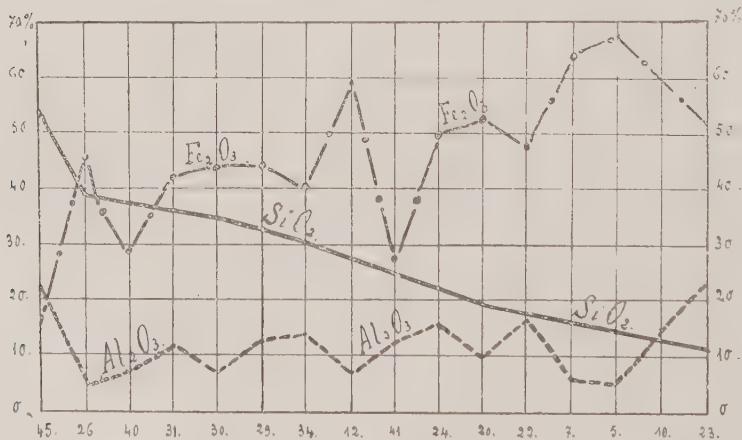
La silice et l'alumine coexistent en règle générale. Ce sont elles qui donnent aux bohrnerz leur allure, car ceux-ci résultent surtout de la lutte du fer contre ces deux éléments. Une courbe établie d'après les analyses relevées plus haut, le montre parfaitement: il y a opposition très nette, comme peuvent l'indiquer assez bien les nombres suivants:

Variation de Fe_2O_3 .	Variation correspondante de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$.
16 à 69 $\frac{\text{o}}{\text{o}}$	75 — 18 $\frac{\text{o}}{\text{o}}$

Les limites de variabilité d'un élément sont dépendantes de celles des autres: la richesse en fer d'un minerai sidérolithique est fonction de sa pauvreté en autres éléments. On peut en dire souvent autant de chacun des éléments.

Pour préciser d'avantage tous ces faits, je crois utile de reproduire ici quelques-unes des courbes que j'ai établies pour arriver à connaître le rôle réel des divers éléments. Dans ces courbes, le pourcentage est porté en ordonnée, tandis qu'en abscisse figurent les numéros des analyses consultées (voir p. 96 et 97).

I. DIAGRAMME DE LA SILICE

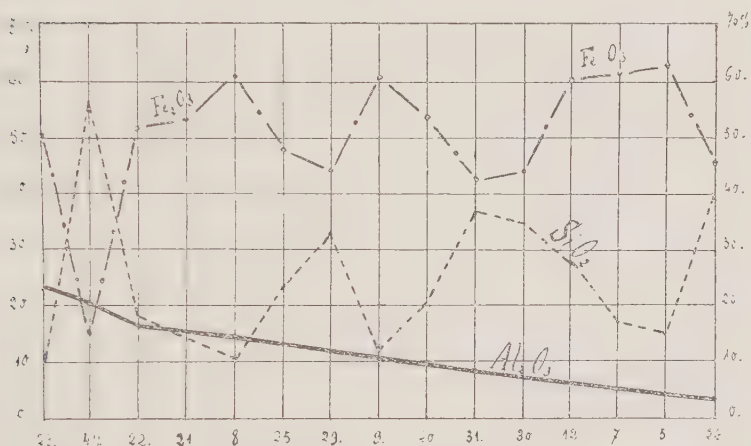


Cette première série de courbes montre bien, ainsi que je viens de le dire, l'opposition nette qui existe entre le sesquioxyde de fer et la silice ou l'alumine. A une courbe

régulièrement décroissante pour la silice, s'oppose une autre courbe, régulièrement croissante dans son ensemble pour le sesquioxyde de fer. Les oscillations de la courbe de l'alumine sont de faible amplitude; mais elles contrebalancent celles de la courbe du fer qui sont les plus prononcées.

Nous allons retrouver des phénomènes analogues en étudiant la courbe de l'alumine. Toutefois, ici, l'opposition entre le fer et la silice est encore plus accentuée, ainsi que le montre très nettement le diagramme qui suit.

II. DIAGRAMME DE L'ALUMINE ¹⁾



En outre, nous voyons apparaître un autre phénomène. S'il reste vrai, que la richesse en fer des composés sidérolithiques est fonction de leur pauvreté en silice, nous constatons, qu'à mesure que la teneur en alumine diminue, celle en silice et en fer augmente. Il y a donc bien entre ces éléments opposition générale et réciproque. C'est également encore entre la silice et le fer que cette opposition est la plus grande; mais c'est l'alumine qui est surtout indépendante: la silice et le fer se remplacent réciproquement.

¹⁾ Ce diagramme est construit, comme le précédent: le pourcentage des éléments est porté en ordonnée et en abscisse sont les numéros des analyses consultées.

L'acide phosphorique et la chaux. Je crois utile de réunir ces deux composés sur lesquels nous n'avons malheureusement guère de renseignements.

L'acide phosphorique existe dans la plupart des bohrnerz ; mais il est toujours en faible proportion (jusqu'à 1,5 %). Il forme sans doute des phosphates terreux, plus rarement métalliques. Son rôle semble assez comparable à celui de la chaux et dans les courbes que j'ai construites pour ces deux éléments des bohrnerz, j'ai retrouvé quelque chose de comparable à ce qui passe pour la silice et l'alumine vis-à-vis du fer.

A une courbe régulièrement descendante d'acide phosphorique, en correspond une autre, à peu près parallèle et également décroissante, pour la silice et l'alumine, tandis que les courbes de la chaux et du fer sont légèrement ascendantes. Au contraire, si c'est la courbe de la chaux qui sert de point de comparaison et qui est régulièrement descendante, on constate que la courbe de l'acide phosphorique oscille très faiblement, tandis que les courbes du fer, de la silice et de l'alumine deviennent ascendantes et ont des oscillations d'amplitude relativement considérable.

En résumé, il semble que l'on peut réunir l'acide phosphorique et la chaux, pour les opposer au fer, à la silice et à l'alumine, et en former un groupe à part, à côté du sesquioxyde de fer d'abord, de la silice et de l'alumine ensuite.

Par ce que nous venons de voir de leur composition générale, les bohrnerz pourraient être assimilés aux roches basiques : leur pourcentage en silice dépasse rarement 50 % ; en moyenne, il varie entre 10 et 30 % et conformément à la règle générale des roches basiques, nous constatons chez les bohrnerz que plus on tend vers un type basique, plus la silice et l'alumine diminuent, plus le fer augmente. Cependant, tout en affectant l'allure d'une roche basique, les bohrnerz en diffèrent en plus d'un point, ce qui n'a rien de surprenant. En effet, par leur origine première, ils se rattachent à des composés ferrugineux d'ordres variés, dont ils dérivent par

des altérations, produites le plus souvent sous des influences oxydantes. La silice, élément acide par excellence, riche en oxygène (53 %), ne sature le fer qu'après les bases plus fortes, les alcalis, l'alumine, la chaux, la magnésie. Ce serait déjà là une première explication de la rareté des silicates de fer dans les minerais en grains sidérolithiques. Mais l'oxydation générale n'est pas limitée à la seule action de la silice, elle tend à donner au fer, la forme la plus stable, soit celle de sesquioxyde. Par suite, le fer des bohnerz est un oxyde ferrique Fe_2O_3 et non un protoxyde FeO ou un oxyde neutre Fe_3O_4 , comme dans les roches basiques.

Dans les minerais en grains, l'élément basique est donc le fer: la magnésie ne joue qu'un rôle presque insignifiant.

La *répulsion* de l'oxyde ferrique pour la silice et l'alumine se trouve contrebalancée par l'affinité qui porte réciproquement l'une vers l'autre, ces deux dernières substances. Ce fait, qui apparait très visiblement dans les bohnerz, avait été signalé déjà pour les mêmes substances et aussi pour la chaux et la magnésie, par les diagrammes de la scorie ferromagnésienne et des éléments blancs de M. Michel-Lévy. Toutefois, sans rien préjuger des conclusions admises pour les roches éruptives, par le savant minéralogiste et pétrographe français, il me semble que dans le cas des bohnerz, cette affinité soit moins intime, plus apparente peut-être que réelle et un peu d'occasion. La silice et l'alumine sont deux éléments acides et dans le cas, leur affinité est d'autant plus intime, qu'ils ont à lutter contre un concurrent commun: l'oxyde ferrique.

Pour les autres éléments, les analyses citées plus haut sont insuffisantes et je dois me contenter de quelques considérations générales.

Le squelette des composés ferrugineux, formé par le fer oxydé, la silice, l'alumine, l'acide phosphorique et parfois la chaux, sert de support à d'autres combinaisons nombreuses, moins constantes, formées, par ce que j'ai appelé précédemment les éléments locaux ou les éléments à l'état de traces. Il ne s'agit pas ici d'une classification proprement dite

des éléments constitutifs des bohrnerz, j'ai seulement voulu préciser les faits, en admettant un certain groupement de ces éléments, d'après le rôle qu'ils semblent jouer.

Les éléments locaux ne sont peut-être pas moins fréquents que le fer, la silice, l'alumine, l'acide phosphorique ; mais c'est par exception seulement qu'ils peuvent être très importants. La teneur en chaux de certains composés, par exemple, peut atteindre jusqu'à 30 % (Analyse n° 39), mais c'est bien une exception.

Nous allons examiner rapidement quelques-uns de ces éléments locaux.

La chaux, dont il vient d'être question, est assez fréquente dans les bohrnerz ; mais le plus souvent, elle y est en très faible proportion. Dans quelques cas, elle est plus abondante, sous forme de sulfate ou de phosphate. Mais alors, les composés ferrugineux subissent une altération de faciès et font place à des produits plus nettement phosphatés ou sulfatés (phosphates, nodules de chaux, gypse, etc...) et il s'agit d'une irrégularité, d'une anomalie sidérolithique. Plus rarement, on trouve des carbonates de chaux dans ces composés ferrugineux. J'ai cependant pu constater leur présence dans des bohrnerz remaniés, mélangés à des ossements éocènes.

La magnésie accompagne fréquemment l'oxyde ferrique. M. de Launay la considère comme l'élément basique par excellence.

Le manganèse est également un compagnon fidèle de l'oxyde de fer et il existe dans la plupart des minerais, mais assez souvent, seulement à l'état de traces. Quiquerez lui attribuait la coloration noirâtre de certaines pisolithes ; il semble plutôt, qu'elle résulte d'une simple altération par les agents atmosphériques. Dans quelques cas, la proportion en manganèse des bohrnerz est assez forte (par exemple, les minerais de la Dordogne ¹⁾).

¹⁾ Quiquerez parle souvent de filons de manganèse dans le Jura bernois ; mais il est difficile de le comprendre sur ce point, les fameux filons étant inconnus aujourd'hui.

Le soufre se rencontre parfois dans les pisolithes sous la forme de sulfure. Les sulfures de fer ne sont pas rares, aux environs de Soleure, ou dans le canton de Vaud (carrières de la station d'Eclépens). Mais ici encore, comme pour la chaux (phosphate), il s'agit d'une anomalie sidérolithique, qui atteint rarement les pisolithes elles-mêmes. Les pseudomorphoses de pyrites ne sont pas très rares. J'ai parlé déjà des sulfates.

Le cuivre n'existe pas dans les bohnerz. On ne l'a signalé qu'une seule fois, à ma connaissance, dans le minerai des Zigzags (Neuchâtel).

Les éléments du dernier groupe sont ceux qui sont plus particulièrement à l'état de traces. C'est à ce fait d'ailleurs, que plusieurs doivent de n'avoir été signalés dans les bohnerz que très tardivement et la découverte de quelques-uns semble même due à une circonstance tout à fait fortuite. Ainsi par exemple, *le titane* ne fut signalé dans les minerais jurassiens que lors de la démolition des hauts-fourneaux de Delémont et d'Undervelier : sur les parois des creusets, on put recueillir d'abondantes cristallisations de titanate de fer. Quiquerez avait déjà fait observer que dans les fissures des hauts-fourneaux, particulièrement dans le creuset, se déposaient « du soufre, du plomb, du zinc, de l'étain et diverses autres substances d'un aspect métallique... » Bien avant lui, certains ingénieurs avaient signalé la formation de vapeurs blanchâtres très lourdes, s'échappant ou se déposant sur les parois du gueulard, *cadmies zinguifères*. Vauquelin, Léchevin ont donné des analyses pour quelques minerais français de l'Est. Ce dernier auteur dit particulièrement, qu'en Côte-d'Or, on voit fréquemment, sur les parois des hauts-fourneaux, des gouttelettes de plomb ou des formations de litharge. Il s'y forme également une scorie pierreuse, verdâtre, que d'après le même auteur toujours, Vauquelin considérait comme de l'oxyde de zinc. Il parle également des cadmies déposées dans les pyramides.

D'après M. le Dr Rollier ¹⁾, L.-R. de Fellenberg avait

¹⁾ L. ROLLIER: *Die Bohnerzformation*, 1905.

déjà reconnu dans les minerais des environs de Delémont (Courroux, Cerneux et Grossefin), des oxydes de manganèse, de plomb, de zinc, de chrome, des acides vanadique, sulfurique et phosphorique. Fellenberg donne les chiffres suivants pour une analyse de scorie formée dans les fissures du haut-fourneau de Choindex :

Oxyde de zinc	94 à 98	‰
Oxyde de plomb	jusqu'à	3 ‰
Oxydes de fer	»	2,5 ‰
Carbone	»	0,7 ‰
Soufre	»	0,02 ‰
Silice	»	0,9 ‰

Le titanate de fer des parois du creuset est ordinairement cristallisé dans le système quadratique. Il semble qu'on puisse considérer ce produit comme une sorte d'alliage. Vauquelin avait déjà signalé la possibilité d'unir ces deux éléments ; la proportion du titane est toujours faible. Joannis semble partager cette manière de voir. Je n'ai pu me procurer des échantillons de ces titanates, qui ne nous intéressent d'ailleurs que médiocrement. Le fait important, c'est l'existence du titane dans les bohnerz. Dans son admirable étude sur le « Rôle du titane en géologie », M. de Launay paraît admettre dans les minerais en grains un sesquioxyde de titane $Ti_2 O_3$, isomorphe avec celui d'alumine et celui de fer. Je n'éprouve pour ma part aucune difficulté à suivre sur ce terrain le savant professeur de l'Ecole des mines. Toutefois, on pourrait se demander, si le titane des bohnerz ne joue pas aussi un rôle d'acide ($Ti O_2$) ? Son rôle dans les bohnerz est moindre que dans les bauxites, dont certaines, d'après L. Collot, renferment jusqu'à 2 ou même 4 ‰ de $Ti O_2$. Certains minerais de la Hesse rhénane en contiennent cependant, jusqu'à 1,396 ‰ ²⁾.

Le vanadium accompagne ordinairement le titane. Je l'ai retrouvé dans les minerais jurassiens et M. A. Carnot,

¹⁾ P. MOULAN : *Origine et formation des minerais fer*, p. 86. 1904.

directeur de l'Ecole des mines, l'a également dosé dans les argiles sidérolithiques du Centre français. Comme pour le titane, on peut se demander, s'il faut le considérer comme sesquioxyde $Va_2 O_3$ ou comme acide $V_2 O_5$. Dans le premier cas, il trouverait sa place à côté du titane ($Ti_2 O_3$), de l'oxyde ferrique ($Fe_2 O_3$), de l'alumine ($Al_2 O_3$) ; dans le second, il se rapprocherait de l'acide phosphorique ($P_2 O_5$), comme précédemment l'acide titanique ($Ti O_2$) se plaçait à côté de la silice ($Si O_2$).

Le chrome, qui dans les minerais jurassiens a souvent plus d'importance que le manganèse, paraît également se rapprocher de l'oxyde ferrique: $Cr_2 O_3$ s'associe à $Fe_2 O_3$ dans les peridolithes et par ailleurs l'acide chromique est volatil.

Quant à l'*arsenic*, en assez forte proportion dans quelques minerais en grains pour les rendre inutilisables, par exemple ceux du val de Laufon (J. b.), il existe constamment dans presque tous les bohnerz, à l'état de traces, comme j'ai pu m'en convaincre. C'est encore un de ces éléments beaucoup plus répandus et plus fréquents qu'on ne le pensait ¹⁾. Il est d'ailleurs le compagnon fidèle du soufre et Daubrée déjà, avait signalé sa coexistence dans les minerais du Bas-Rhin,

¹⁾ Les travaux admirables de MM. A. Gautier et G. Bertrand (sur l'arsenic physiologique) ont démontré l'existence de l'arsenic dans la plupart des tissus organiques. Le plus grand mérite de ces deux savants est moins dans leur découverte même que dans la précision qu'ils ont su donner à leurs méthodes de recherches. Grâce à eux, la vieille méthode de Marsch devient une des plus rigoureuses. Je ne saurais que renvoyer ici, aux mémoires qui ont été publiés par MM. Gantier et Bertrand et dont on trouvera une liste assez complète, dans la publication du Dr Monneyrât sur l'arsenic organique, 1904. — Le fait que l'arsenic est un des éléments constants des tissus, exige, même a priori, que cet élément soit très répandu dans les formes végétales et animales et par suite dans le sol même. On peut donc s'attendre à le rencontrer beaucoup plus souvent qu'on ne le croyait autrefois. — Ce qui arrive pour l'arsenic est arrivé déjà et arrivera encore pour beaucoup d'autres éléments. Quand on examine bien tous ces faits, on se demande, si vraiment la vieille théorie de la *correspondance* de Paracelse était aussi peu fondée qu'on a bien voulu le dire ?

avec le soufre, le phosphore, le chrome, le titane et le zinc, dans les proportions suivantes :

Arsenic	0,001—0,0026 ‰
Phosphore	0,009—0,0047
Soufre	0,0022—0,0049

Dans les quelques essais de reproduction des pisolithes que j'ai effectués, j'ai toujours remarqué l'influence heureuse des traces d'acide arsénieux dans la solution utilisée. Faudrait-il en conclure une connexion entre la morphologie des minerais en grains et leur teneur en arsenic ? Je ne voudrais pas être trop affirmatif sur cette question délicate ; toutefois, pour qui a suivi les derniers travaux des chimistes sur les alliages japonais, ces faits n'ont rien de très surprenant.

Il resterait encore à parler de quelques éléments, en particulier du *zinc*, du *plomb*, de l'*étain*, qui tous ne forment jamais qu'une partie infinitésimale des bohrnerz.

Le zinc et le plomb ont une certaine affinité réciproque et se rencontrent fréquemment en coexistence dans les mêmes roches. Ils entrent même dans certains silicates. D'ailleurs, pour le cas des bohrnerz, leur présence pourrait s'expliquer, comme nous le verrons dans une autre partie de cette étude, par une communauté d'origine, sous forme de sulfures de fer, de zinc, de plomb.

En résumé, la composition chimique des bohrnerz ou des matériaux ferrugineux sidérolithiques, quoique très variable dans ses réalisations de détail, ne manque cependant pas d'une certaine régularité d'ensemble. La variabilité de détail est le résultat des oscillations individuelles des éléments subissant des influences locales ; tandis que la régularité d'ensemble est une conséquence de la stabilité de ces mêmes éléments, facteurs constants mais variables des différents produits. En d'autres termes, la composition qualitative ou quantitative explique la stabilité et justifie la variabilité ; les variations quantitatives étant plus grandes et surtout, plus apparentes que les qualitatives.

Le groupement des éléments constitutifs de ces forma-

tions sidérolithiques, en éléments importants, fondamentaux, et en éléments locaux ou en faibles proportions, peut être avantageusement remplacé par le suivant, basé surtout sur le rôle de ces mêmes éléments :

- I. Fer, silicium, aluminium.
- II. Phosphore, calcium.
- III. Magnésium, manganèse, soufre, titane, vanadium, chrome.
- IV. Arsenic, plomb, zinc, étain.
- V. Bitume, (etc.).

De tous ces éléments, aucun n'existe à l'état libre dans les bohnerz : tous sont au moins oxydés ou hydratés. Le degré d'oxydation tend vers l'état le plus stable, c'est-à-dire, le plus difficilement décomposable : de là la prédominance des sexqui-oxydes. En outre, très souvent, sous cette forme, ils entrent encore dans des combinaisons très complexes.

De ce fait, on a le droit de supposer, que ces matériaux ont été formés par une série d'actions répétées et exécutées sous une influence généralement oxydante.

B. Les produits siliceux et argileux.

Sous ce titre général, se groupent des roches souvent très différentes d'aspect et de composition, mais qui forment la majeure partie des matériaux sidérolithiques. Et ici encore comme pour les « types sidérolithiques » précédemment étudiés au chapitre II, il y a toute une série très complexe de formes très diverses, passant les unes aux autres, ainsi que l'on peut s'en faire immédiatement une idée assez juste, en examinant les quelques analyses qui suivent ¹⁾.

¹⁾ Ces analyses sont indiquées par M. le Dr E. Baumberger de Bâle, dans sa notice : *Die Eisenerze im Schweizerjura*, 1907. M. le prof. C. Schmidt de Bâle, avait déjà fait mention de quelques-unes dans son étude pour l'exposition nationale de Genève de 1896.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
Si O ₂	92,55	88,77	84,67	68,30	61,07	59,98	48,46
Al ₂ O ₃	5,08	6,86	11,63	15,75	30,43	27,86	34,46
Fe ₂ O ₃	traces	0,77		6,55		3,60	3,44
P ₂ O ₅	—	—	—	traces	—	—	—
Ca O	0,73	0,99	0,73	1,70	0,38	0,78	0,67
MgO	—	—	0,11	1,19	—	0,27	—
Porte au feu	1,70	2,59	2,92	6,20	8,45	8,56	13,91
	100,06	99,98	100,06	99,20	100,33	101,05	100,94

La composition chimique des sables, (I Matzendorf, Soleure; II Champ Chalmé, près Court, Jura bernois et III Petit Champoz, près Moutier), diffère sensiblement de celle des argiles, (IV Ecorcheresses, Jura bernois; V, VI et VII Petit Champoz, près Moutier). Mais ici encore, le passage des uns aux autres se voit parfaitement dans les variations de la silice (92,55 % à 48,46 %) et dans celles de l'alumine (5,08 % à 34,46 %), le fer n'ayant pas plus d'importance que la chaux ou que la magnésie.

Ces seules considérations suffisent pour justifier le titre donné à ce groupe de produits si divers, nettement siliceux ou alumineux. Ne pouvant m'arrêter très longuement sur ce sujet, je me bornerai à étudier parmi ces matériaux, les types les mieux caractérisés.

1. Les sables siliceux ou hupper¹⁾.

Comme l'indiquent leurs noms, ces sables sont essentiellement formés par de la silice en grains. Lorsqu'ils sont purs, on peut les utiliser pour la fabrication du verre²⁾. Le plus souvent, ainsi que le montrent les analyses mentionnées

¹⁾ Expression populaire, employée généralement par les auteurs allemands,

²⁾ L'existence d'anciennes verreries jurassiennes est bien établie par les nombreuses accumulations de scories et aussi par l'histoire pour une époque plus récente. La vallée de Moutier fut de tout temps le centre de l'industrie du verre, qui y eût dès le moyen-âge, sa corporation bien organisée et dont l'esprit de caste a subsisté jusqu'à nos temps. Aujourd'hui encore, une verrerie y est en pleine prospérité.

plus haut, la silice y est associée à l'alumine. Dans ce cas, ils peuvent souvent servir à la fabrication des produits réfractaires, l'alumine étant bien moins fusible que la silice. Certains sables jurassiens sont à ce point de vue excellents et il est vraiment regrettable que leur exploitation ne soit pas systématiquement et régulièrement organisée ¹⁾. Les travaux bien connus de Segers ont en effet établi, que parmi les mélanges de silice et d'alumine, celui de 1 d'alumine avec 2 de silice est très réfractaire, quoique cependant moins que celui de 1 de silice avec 1 d'alumine.

Les sables sont ordinairement accumulés en masses parfois considérables dans les dépressions du substratum du Sidérolithique ou au contraire, ils constituent un banc régulièrement intercalé dans les argiles ou les bohnierz. Ils sont formés par des grains de silice transparente. Purs, il sont blancs, mais, très souvent, la présence de sels métalliques les colore diversement. Les teintes les plus communes sont : rouge, rose, jaune, blanc-laiteux. On connaît des sables noirs, (crevasses dans le Kimmeridien, au nord de Crémise, dans la vallée de Moutier), bleuâtres ou violacés (Moutier), etc... Mais presque toujours, il est facile de reconnaître que la coloration est due à des particules très fines, accolées aux grains de la silice translucide et incolore. Pour s'en convaincre, on peut opérer de la façon suivante :

Dans un tube de verre, légèrement incliné, rempli d'eau distillée et mesurant au moins 2 m. de longueur, sur $1\frac{1}{2}$ à 2 cm. de diamètre, on verse lentement les sables à étudier que l'on a préalablement fait immerger pendant quelques heures dans de l'eau pure (30 à 35°) ; on recueille séparément les sédiments qui se déposent (au moyen d'un robinet placé vers le

¹⁾ Ces matériaux sont cependant déjà exploités sur plusieurs points dans les vallées de Matzendorf (Solenre), de Moutier, de Tavannes, de Péry (Jura bernois), aux environs de Lausen (Bâle-Campagne), de Longeau (Berne), etc... Ils sont employés dans les verreries (Moutier) ou les briquetteries (Moutier, Société L. de Roll et Lausen, etc.) ou même, transportés à l'étranger (Lyon).

bas du tube) et il ne reste plus qu'à les étudier au microscope. On peut aussi, dans le même but, examiner les sables directement au microscope; mais ce procédé est bien moins délicat et dans quelques cas surtout, il est absolument insuffisant.

Dans tous les cas, on peut constater que la silice reste incolore, sous forme de grains transparents, de dimensions variables, tantôt à arêtes vives, tantôt roulés, mais très rarement cristallisés. Les matières colorées sont fixées par des particules très fines, où l'on reconnaît encore une quantité de petites aiguilles de silice à arêtes vives. Traitées par les acides, ces particules se décolorent et il reste un résidu siliceux.

Assez souvent, les sables très pressés ou cimentés passent à la quartzite ou au grès. Les formes cristallines sont toujours une exception : mais on les rencontre cependant, soit isolées et microscopiques, soit accumulées. Les concrétions de silicate d'alumine sont moins rares; elles sont en masses le plus souvent, mais parfois aussi, elles se poursuivent en long tubes pleins, à travers les sables. Il y a, en quelque sorte, un isolement de l'alumine au milieu de la silice. La formation de ces « serpents » s'explique parfaitement par des infiltrations superficielles d'eau de pluie, ayant traversé des argiles très riches en alumine. A côté de ces concrétions alumino-siliceuses, il faut également mentionner celles du fer qui sont très fréquentes et de formes très variées.

2. Les argiles.

Les argiles sidérolitiques sont très développées et surtout très variables de composition. Elles se distinguent des sables par leur pauvreté relative en silice et leur plus grande richesse en alumine et en fer, comme on peut le constater par les analyses IV, V, VI et VII.

On peut distinguer deux groupes :

- 1° Les argiles nettement siliceuses ou bols.
- 2° Les argiles riches en alumine et plastiques.

Les bols ou *bolus* sont des argiles très ferrugineusés, donc ordinairement, de coloration vive, riches en silice, mais pauvres en alumine. Ils ne sont pas plastiques. Leur aspect et leur texture sont des plus variables : en général, on peut les considérer comme dus à des mélanges de substances très diverses avec les sables siliceux qui en forment la plus grande partie. Leur composition minéralogique peut se résumer ainsi :

I. Eléments fondamentaux.

La silice : en grains (sables), en concrétions, en masses (quartzite, silex).

L'alumine : silicates hydratés voisins de la collyrite.

Le fer : en grains pisolithiques, en concrétions, en imprégnations.

II. Eléments secondaires.

Les sels : phosphates, titanates, vanadates, arséniates, chromates, carbonates, manganates, sulfures.

La baryte, la strontiane, la magnésie...

III. Eléments accidentels.

Des galets roulés (calcaires, siliceux...).

Des concrétions calcaires, siliceuses, ferrugineuses.

Du bitume, des produits organiques (ossements) ou humiques.

Des minéraux : glauconie, feldspath...

Comme pour les sables, la coloration est due aux sels métalliques (oxydes de fer, de manganèse surtout), sans qu'il soit possible cependant de fixer le rôle exact de chacun d'eux. La coloration est, en effet, la résultante des actions totales des colorants et le rôle de chacun est modifié par les actions combinées de tous les autres. Dans quelques cas, l'influence prépondérante d'un colorant peut fixer la coloration générale : le sulfure de fer colore les bols en vert, l'arsenic (val de Laufon), en jaune d'or, les phosphates (Jura neuchâtelais), en vert foncé, etc... L'action des sels de fer, du sesquioxyde, ou de manganèse est des plus variable : elle est fonction de la quantité du sel, comme aussi de son degré d'hydratation.

La coloration seule ne saurait justifier une classification des bols. Au pied sud du Weissenstein, ils sont violacés : verdâtres, vers Matzendorf ; vert-foncé, dans les environs de Neuchâtel ; brun-noirâtre, dans la région du Mormont (imprégnation de bitume), etc. ; cependant, certains auteurs distinguent les bols jaunes (Terre jaune de Greppin) des bols rouges. Les premiers sont moins ferrugineux, plus calcaires que les seconds, qu'ils recouvrent ordinairement ; mais tous les deux contiennent des pisolithes de fer.

La texture est également variable. Assez souvent, elle est très nettement gréseuse, arénacée et le bol peut être considéré comme une sorte de brèche ou de gompholithe à fins éléments... Souvent aussi, les éléments sont très fins, très serrés : le bol est dur. D'autres fois au contraire, il est concrétionné, caverneux, ocreux, etc...

La dureté et la cassure varient avec la texture : certains bols sont tendres, s'effritent facilement, se brisent irrégulièrement, d'autres sont plus durs (leurs éléments sont plus fins et plus réguliers), leur cassure est parfois conchoïdale, ondulée et lisse, etc. : on observe un peu tous les cas possibles pour des roches de dureté oscillant entre 1,3 et 2,8 et dont la texture est susceptible de grandes variations. Les terres jaunes (bols) se brisent souvent assez régulièrement en fragments anguleux, facilement ou difficilement, suivant les roches.

Ils sont en général inodores, même lorsqu'on les chauffe, tout au plus lorsqu'ils sont humides perçoit-on l'odeur caractéristique des argiles. Certains bols pyriteux, chauffés, dégagent parfois de l'hydrogène sulfuré. Fraichement extraits du sol, ils sont brillants et contiennent beaucoup d'eau ; la dessiccation les rend ternes et rugueux.

Leur densité varie également ; faible pour les bols ocreux et caverneux, elle est au contraire, assez élevée pour les bols compacts (3—3,5).

De même que dans les sables, où l'on constate la présence de minéraux particuliers, (silicate d'alumine en concrétions et en veinules), on rencontre aussi dans les bols du

gypse cristallisé, en amas ou en plaquettes : c'est également une formation accidentelle.

Les argiles plastiques sont tantôt intercalées dans les bols ou tantôt, elles recouvrent les sables, auxquels elles sont d'ailleurs très étroitement liées. Leur contact avec ces derniers est bien visible à Moutier.

Elles sont caractérisées surtout par leur plasticité qui n'est, il est vrai, jamais très grande. Leur pauvreté en fer les distingue des bolus, tandis que leur richesse en alumine les sépare du sable, comme l'indiquent les analyses mentionnées plus haut. Souvent, on peut les utiliser pour la fabrication de produits réfractaires.

La coloration de ces argiles est moins vive que celle des bols. Souvent, elles ont une teinte uniforme (gris-cendré), mais souvent aussi, elles sont bariolées de rouge, de bleu, de vert, etc. L'action de l'air modifie leur coloration, les dessèche et fait disparaître leur plasticité.

Elles sont formées par des matériaux extrêmement fins, parmi lesquels, on reconnaît de nombreux grains de sables siliceux. On n'y rencontre que très rarement des pisolithes de fer.

Par ces seules considérations très générales et très sommaires, il est facile cependant de se rendre compte de la variabilité extrême de ces produits sidérolithiques. Des sables siliceux aux argiles plastiques, par les bols, il y a bien en effet, toute la série très complexe des formes passant réciproquement les unes aux autres. Pour tous, la coloration très variable et très variée est fonction de leur richesse en sels métalliques : elle est l'intégrale des actions et des réactions réciproques de ceux-ci.

De tous ces produits, seuls les sables siliceux, les bols ferrugineux et les argiles plus ou moins plastiques sont bien caractérisés. Leur individualisation semble due à la concentration d'un élément, le sesquioxyde de fer, la silice ou l'alumine. On peut les considérer comme des résultats isolés d'une sédimentation fractionnée traduisant l'ensemble des actions sidérolithiques.

L'opposition réciproque de ces produits est mise en évidence par ces chiffres, qui sont les moyennes des analyses qui ont été étudiées dans ce chapitre.

	Fe_2O_3	SiO_2
Bohnerz	61 $\frac{0}{0}$	14 $\frac{0}{0}$
Bol	5	60
Hupper	0,3	89

C. Les produits calcaires.

Assez fréquemment, les dépôts sidérolithiques, réguliers surtout, sont accompagnés de formations calcaires très particulières, d'étendue et d'épaisseur variables, mais ordinairement intercalées en couches dans les assises supérieures, qu'elles divisent ou recouvrent même parfois. Ces formations sont de deux sortes :

1° Les calcaires.

2° Les conglomérats.

Le Dr Greppin, qui en fait mention dans ses travaux, ne les considérait que comme des *accidents importants* de son « terrain sidérolithique ».

1. Les calcaires ou *raitsches*.

Les anciens géologues jurassiens, Gressly, Quiquerez, Greppin surtout, désignent ordinairement sous le nom de *raitsches*, le calcaire sidérolithique du val de Delémont, d'après l'expression consacrée par le langage des ouvriers mineurs. Remarquons de suite, que sous cette appellation de *raitsche*, se groupent tous les calcaires lacustres, à fossiles d'eau douce et sidérolithiques. C'est bien intentionnellement que je dis « sidérolithiques », au risque de soulever bien des polémiques, mais je crois pouvoir le faire, mettant à l'arrière plan la question de synchronisme ou d'équivalence stratigraphique. Les différentes *raitsches* diffèrent ou peuvent différer entre elles, au même titre et dans la même mesure tout au moins, que les différents sidérolithiques diffèrent entre eux. *La raitzsche et*

plus encore les conglomérats me paraissent le faciès calcaire du phénomène sidérolithique et pour ce motif, je ne puis suivre le Dr Greppin et en faire de simples accidents.

Dans le Val de Délémont où la raitsche est bien connue, intercalée dans les bols supérieurs, elle forme une couche assez régulière, rencontrée tant à l'W. qu'à l'E. et mesurant de 1 à 5 m. d'épaisseur. Elle est à découvert sur quelques points : dans les ravins de la Scheulte, sur la rive droite : entre Vicques et Courcelon, et plus bas, entre Courcelon et Courroux. Deux stations sont surtout bien découvertes et facilement abordables, l'une à l'W., l'autre à l'E. de Courcelon.

Voici comment elle se présente à l'W. de Courcelon, (côte 424 m. à peu près) :

1° Terre végétale brune, mélangée de galets rares et petits	0 ^m 45
2° Cailloutis quaternaire formé par un amoncellement de galets stratifiés par ordre de grosseur et mélangé de bohnerz remanié et noirâtre . . .	1 ^m 60
3° Série de minces bancs calcaires, jaunâtres, avec empreintes végétales	0 ^m 95
4° Argile rouge, feuilletée	0 ^m 04
5° Argile bariolée, granuleuse, avec quelques grains de fer	0 ^m 45
6° Raitsches	0 ^m 80
7° Bols à pisolithes ; terre jaune sup. (sidérolithique).	4 ^m 20

Les couches sont presque horizontales, c'est à peine si elles sont légèrement inclinées vers l'Est. On voit une faille dans la partie occidentale du gisement. Les bols montrent également de jolies surfaces de friction.

La station à l'est de Courcelon est encore plus intéressante. Le gisement est à découvert sur une trentaine de mètres. Il y a également une faille très visible, à cause des formations curieuses qui se sont déposées après coup. Qui-

querez y reconnaissait un gisement sidérolithique en formation. L'inclinaison des couches est très faible ; le dénivèlement dû à la faille atteint un mètre et demi : c'est la lèvre W. qui forme le toit. Profitant de cette cassure, les eaux ont suivi le passage ouvert et accumulé à la base de la faille, à la place des bols qu'elles enlevaient, toute une série de couches très curieuses par leur coloration, verdâtre, rouge sang de bœuf et même quelquefois blanc de lait.

La nature pétrographique du calcaire varie également. A l'W. de Courcelon, c'est un calcaire peu compact, rarement homogène, caverneux, stalactiforme, à cassure très irrégulière. La roche est tendre, peu siliceuse, presque crayeuse en certains points, de couleur grisâtre ou légèrement jaunâtre, mais pointillée de noir. A l'E. au contraire, elle est plus dure, presque cristalline, plus siliceuse, en bancs plus réguliers, de coloration plus foncée ou bien presque blanche et brillante. La cassure est nette, franche et le choc sonore.

Mais il n'y a pas qu'un seul niveau pour la raitsche du val de Delémont : Greppin et Quiquerez en mentionnent deux. Par exemple dans le puits Bitter, un premier niveau a été rencontré par 9 m. 6 de profondeur et un second par 88 m. 8. Un troisième niveau a peut-être même existé, mais n'a pas été conservé ou rencontré comme tel du moins, et les fragments de calcaires siliceux avec pisolithes enclavées, que l'on peut quelquefois recueillir dans le bas des dépôts, presque sur le substratum jurassique, en seraient les restes. J'ai observé ces fragments au puits Blancherie, par 110 à 115 mètres de profondeur. La roche est dure, siliceuse, toute coupée de veinules ou de strades plus durs et à grains plus fins. Elle empâte des grains de silice et des pisolithes. Ces dernières sont ordinairement entières, à structure concentrique, mais souvent aussi, elles sont brisées. J'y ai inutilement cherché des traces d'organisme. Le Dr Greppin fait d'ailleurs remarquer, que seul le niveau supérieur s'est montré fossilifère.

Dans le val de Moutier, il y a également un niveau de raitsche, représenté par une roche aussi très variable, mais

rappelant souvent les calcaires jurassiques supérieurs. Elle repose tantôt sur les bols, tantôt sur le calcaire jurassique supérieur non recouvert de bolus. Par sa nature pétrographique, elle diffère de celui du val de Delémont, elle est surtout plus siliceuse. Elle passe d'ailleurs par divers stades et sur certains points, comme au Champ-Vuillerat, près du stand de Moutier, on la voit dérivant des bols supérieurs ou des sables siliceux, par une série de bancs, roses, blancs, jaunâtres, etc., passant à une roche plus dure, un vrai calcaire, tantôt compact, tantôt gréseux. Pour être précis, il faudrait distinguer les calcaires bien caractérisés par leurs fossiles, des bancs gréseux, provenant des sables et généralement stériles.

Le calcaire d'Oberdorf (Soleure) a été découvert par les travaux du tunnel de la ligne Moutier-Soleure, mais il semble, que Lang déjà en ait connu un affleurement dans le voisinage. Au gisement du tunnel, il y a toute une série de bancs très minces, séparés par des lits marneux ou schisteux. Le calcaire est ici une roche dure, sonore, assez compacte, peu siliceuse, d'un blanc sale ou jaunâtre. Les bancs sont en général peu épais ; l'ensemble ne dépasse pas 2 m. 50. Il y a quelques imprégnations ferrugineuses par places et de nombreux restes d'organismes d'eau douce.

A Hochvald (Soleure), le gisement est moins développé, mais non moins intéressant. Longtemps perdu, M. Gutzwiller vient de le retrouver et d'en donner une bonne coupe : je renvoie à son excellent mémoire ¹⁾. La roche calcaire est un peu particulière ; elle diffère légèrement de celle des calcaires du Jura bernois ou d'Oberdorf. La coloration est blanche, jaunâtre ou même rouge quelquefois et la texture peu homogène ; il y a de nombreuses concrétions à structure radiale ou concentrique ainsi, que des petites cavités tapissées de cristallisations de calcite. La cassure est cependant assez nette.

¹⁾ A. GUTZWILLER : *Die Eocänen Süßwasserkalke...* p. 1 à 15. — 1905.

Dans le canton de Bâle, on connaît des formations analogues à Lausen, près de Liestal et à Aesch. Il est question ailleurs de la première localité, je releverai seulement ce fait mentionné par M. Gutzwiller et que j'avais admis à une première visite au Kohlholz, c'est que le calcaire d'eau douce y a formé un banc ou une couche, dont les fragments que l'on retrouve sont les restes.

Je n'ai pas visité le gisement de la station d'Aesch, je n'ai donc aucune observation à ajouter à celles de M. Gutzwiller: il en est de même pour les gisements peu connus de Hollenreben, au S. du château de Birseck, près d'Arlesheim, etc...

Enfin, pour compléter cette énumération, je mentionnerai encore dans la région vaudoise :

Le calcaire du lac Ter, près Le Lieu, dans la vallée de Joux.

Le calcaire de la Grand-Vire, à la dent de Morcles.

Le calcaire de la Pointe de la Houille, dans les Diablerets. Etc., etc.

Presque sans exception, ces calcaires accompagnent les formations sidérolithiques, et si, pour quelques-uns, le contact avec les bols ou les sables n'est pas immédiat, il n'y a cependant pas lieu d'en être trop surpris: le même fait se présente pour le calcaire à *Limnaea longiscata* de la Charrue, à Moutier.

2. Les conglomérats ou gompholites de Daubrée.

Les conglomérats sont peut-être encore plus fréquents que les calcaires sidérolithiques. Ils ont été reconnus et signalés très tôt déjà. Les anciens géologues les appellent: Jura-Nagelfluh. Nagelfluh jurassique, poudingues, conglomérats...; aujourd'hui, ce sont généralement des gompholites. Toutes ces appellations, et même la dernière me paraissent peu précises: il n'y a pas que la gompholite sidérolithique, il y en a d'autres encore dans les mollasses. Afin de fixer les idées, au même titre et dans le même sens que j'ai groupé tous les calcaires sidérolithiques dans les raitsches, je propose de désigner désormais ces conglomérats sous le nom de: *calcaire de Daubrée* ou si l'on veut, de *gompholithe de*

Daubrée, en souvenir de l'immortel savant et du maître de l'expérimentation géologique, qui les a étudiés un des premiers.

Mais ici encore, comme pour les raïtsches, il ne s'agit pas d'un niveau stratigraphique, mais simplement d'un accident minéralogique, très fréquent, qui accompagne très souvent les bols, sans être cependant constant.

La gompholithe de *Daubrée* est un poudingue, formé par une accumulation de galets, de dimensions, de nature très variables, réunis par un ciment calcaire, quelquefois siliceux, mais toujours très ferrugineux et empâtant de nombreuses pisolithes de fer. Les galets appartiennent en général aux étages du Jurassique supérieur (en moyenne 95 à 98 %); mais il y a cependant des débris de couches plus profondes, du Dogger, du Lias et même du Trias quelquefois. Ces proportions varient d'ailleurs avec les localités et les gisements : dans certains cas par exemple, le Portlandien et le Kimmeridien à eux seuls forment jusqu'à 99 % des galets.

La forme et les dimensions de ceux-ci varient dans une large mesure. Le diamètre des plus gros ne dépasse pas 30 cm., du moins à ma connaissance et cette taille est une exception ; en moyenne, il varie entre 5 et 12 cm.; les dimensions moindres sont cependant fréquentes. J'ai vu des gompholithes dont les éléments ne dépassaient pas 2 1/2 cm. ; certaines gompholithes présentent une véritable stratification par ordre de grosseur de leurs éléments, passant rapidement du conglomérat grossier au grès fin ; on peut voir un exemple de ce genre, sur la nouvelle route de Courfaivre à Soulce (près de Soulce).

En général, les galets sont roulés et arrondis ; les formes anguleuses sont rares ; cependant dans quelques cas, on voit un passage de la gompholithe à la brèche.

Le ciment des gompholithes est aussi très différent, non seulement suivant les localités, mais même dans un seul gisement. D'ordinaire, il est calcaire et rappelle la pâte de certaines roches jurassiques ; mais il en diffère cependant par de nombreuses veines de calcite ou d'oxyde de fer. Il est d'ailleurs le plus souvent très ferrugineux, coloré en rouge brique,

ou même quelquefois seulement jaunâtre. Dans certains cas cependant, il est lui-même une gompholithe à éléments très petits, rappelant les grès grossiers, durs, siliceux. L'exemple le plus frappant que je connaisse est celui que j'ai observé sur la route de Soulee. La gompholithe à gros éléments passe à un véritable grès ferrugineux et siliceux, bréchoïde par place, formé par des grains de silice et de fer agglutinés : les dimensions des premiers ne dépassent pas $1\frac{1}{4}$ mm. ; celles des seconds n'atteignent pas 2 mm. Il y a un véritable banc de cette roche, sans galets, intercalé entre deux autres couches de la gompholithe, formée par ce même grès cimentant de gros galets.

On comprend facilement que, dans ces circonstances, la teneur en fer puisse varier considérablement, car elle dépend de deux facteurs : l'imprégnation chimique de la pâte et l'accumulation mécanique des pisolithes ou des roches ferrugineuses, et ce dernier fait, surtout, peut jouer un rôle important. A la Marchstein (vallée de la Scheulte), par exemple, les galets calcaires sont souvent complètement enserrés dans un filet formé de pisolithes ou d'agglomérats nuciformes, reliés par un ciment calcaire et ferrugineux. Dans ce cas, la gompholithe est surtout ferrugineuse.

Les composés ferrugineux des gompholithes diffèrent peu de ceux des dépôts sidérolithiques : ce sont le plus souvent des pisolithes ou des agglomérats. On y remarque cependant assez souvent, des grains amorphes, sans structure concentrique et dont la coloration est ordinairement modifiée, soit qu'elle soit plus rouge ou plus noire. J'attribue les grains amorphes, au transport par les eaux de fragments des agglomérats sidérolithiques et la modification de couleur des pisolithes, me paraît une preuve certaine de l'action des agents atmosphériques.

L'allure de la roche dépend nécessairement des rapports réciproques du ciment et des galets. Lorsque le premier est très abondant et qu'il englobe les seconds, on a une roche très dure, d'ordinaire au moins. La cassure a presque toujours lieu comme pour une roche homogène ; les galets se brisent, et il n'y a pas de décollement, ce qui prouve une

forte adhérence entre le ciment et la surface des galets. L'action des agents atmosphériques facilite le décollement, ce qui se comprend facilement. Certaines gompholites ne sont d'ailleurs ni très dures, ni tenaces, par exemple, celles de la grotte de la Madeleine, au S.-W. de Courfaivre. Ce peut être les résultats des actions mécaniques, tectoniques, ou simplement de l'altération chimique due à l'érosion et qui se révèlent surtout par des infiltrations et des remplissages de calcite. J'ai vu, au musée de Zurich, une pisolithe brisée dont les deux parties sont réunies par de la calcite. Je possède d'ailleurs un échantillon analogue, provenant de Courfaivre. Au Mont de Chamblon, j'ai également recueilli une pisolithe brisée, mais dont les parties se sont soudées entre elles, après dénivèlement, sans calcite intermédiaire.

Ces remplissages de calcite ont pris dans certains gisements, une signification très particulière. Ce ne sont plus de petites veinules ou de minces bancs remplissant les fissures et les crevasses, mais quelquefois des couches véritables, mesurant jusqu'à 10 cm. d'épaisseur et se poursuivant sur plusieurs mètres carrés de surface, comme par exemple au S. de Vermes (J. b.). J'ai observé dans cette localité, une gompholithe, formée par un ciment tantôt très calcaire, rouge-vif, empâtant les pisolithes très rapprochées, et presque sans galets, ou tantôt au contraire, bien moins dur, tendre et crayeux, jaunâtre. Il y a d'ailleurs une forme intéressante, le passage de ce dernier type au calcaire jaune sans pisolithe ferrugineuse: c'est une roche calcaire assez résistante, jaunâtre, avec veinules de calcite concrétionnée et contenant une quantité de pisolithes calcaires très petites, rappelant des graines de characées. Je n'ai pu malheureusement retrouver la couche en place. Les infiltrations de calcite sont surtout abondantes dans la couche rouge à pisolithes ferrugineuses. J'ai remarqué de magnifiques cristallisations bacillaires, d'une calcite jaune, rose. Ces infiltrations et ces cristallisations paraissent indiquer une circulation très intense d'eau calcaire, au travers de la gompholithe brisée et fissurée. En outre, durant cette dislocation de la roche, il est arrivé que les

pisolithes ont été brisées ou qu'elles se sont décollées du ciment qui les englobait. Peut-être, que du fait que dans ces gisements, comme au S. de Vermes, où l'on trouve une quantité de pisolithes décollées et entourées par des cristallisations de calcite, interposées entre elles et leurs alvéoles primitives, pourrait-on conclure, que ce remplissage indique, que la dislocation de la roche a dû se produire peu après sa sédimentation, la liaison intime des pisolithes et du ciment n'ayant pas encore pu s'établir ?

Lorsque le ciment est moins abondant, la roche manque d'homogénéité : elle est nécessairement moins résistante : les galets sont seulement accolés. On observe quelquefois cette forme, cependant, elle est assez rare. Les pisolithes de fer sont alors moins nombreuses, mais le fer en état d'imprégnation ou même de coulées amorphes, mamelonnées, etc., y est assez fréquent. A la Marchstein, j'ai recueilli un échantillon de ce genre, dans lequel les galets sont associés très intimement et presque sans ciment.

Toutes ces considérations, que je dois forcément abréger, m'amènent à étudier une question des plus intéressantes, mais d'autant plus complexe et qui, pour la gompholithe de Daubrée, prend une signification toute particulière, je veux parler des actions résultant du contact réciproque des différents éléments de la gompholithe. Toutefois, une étude spéciale étant consacrée, dans ce travail, aux altérations sidérolithiques, je crois devoir y joindre la continuation de ces recherches pour ne pas diviser une série d'études qui se complètent mutuellement. En effet, ces actions résultent, ou de l'influence du ciment sidérolithique sur les éléments qu'il empâte, ou du contact réciproque des éléments entre eux. Or, dans le premier cas, ces actions se réduisent à des altérations chimiques, n'entraînant qu'exceptionnellement des modifications morphologiques et appartenant donc bien aux altérations sidérolithiques et dans le second cas, les phénomènes obscurs de la formation des cailloux impressionnés, ne paraissent pas pouvoir en être séparés totalement. Il n'y a donc pas lieu de s'en occuper ici.

La gompholithe de Daubrée, qui dans certains cas, peut passer à un calcaire avec pisolithes de fer et qui est alors le calcaire de Daubrée, a été reconnue en plusieurs régions dans le Jura. Elle est représentée dans le Jura oriental, mais je n'en connais pas de gisement bien caractérisé, sauf ceux du Randen.

Dans le canton de Soleure, il y a les gisements du Guldenthal, de la Ferme de Moos, de Mümliswyl, de la vallée de la Dümern, etc.

Dans le canton de Berne : La Marchstein (vallée de la Scheulte); dans le val de Delémont : au S.-W. de Courfaivre; au S.-E., de Vernes, au N. de Soulee, au Moulin de Bourri-gnon, etc.

En souvenir des géologues français qui ont visité nos gisements suisses, je mentionnerai celui de Roppe, près de Belfort, que Delbos, Daubrée et Bleicher ont si admirablement décrit et étudié.

En résumé, les formations sidérolithiques calcaires doivent être attachées au Sidérolithique lui-même qu'elles accompagnent. Elles sont le résultat d'un travail spécial, qui semble ne s'être produit que très irrégulièrement dans le temps comme dans l'espace. Leur composition chimique, leur aspect témoignent de cette irrégularité et les rapprochent des autres matériaux sidérolithiques.

Par rapport aux dépôts sidérolithiques, ce sont des « Accidents » si l'on veut, mais en réalité ce sont des formations régulières¹⁾, produites par un phénomène particulier, lié à l'ensemble des actions sidérolithiques.

La variabilité de leur composition chimique s'explique, comme pour les bohrerz ou les bols, par des influences locales et l'irrégularité de leur distribution géographique actuelle témoigne, soit d'une répartition primitive très restreinte, ou d'une érosion très puissante, soit d'une formation primitive très localisée.

¹⁾ Ces formations sont souvent en bancs assez épais et en position régulière dans la stratification des dépôts sidérolithiques.

STRATIGRAPHIE

La stratigraphie des gisements sidérolithiques n'est que la réalisation apparente, grossière, de la diversité minéralogique de leurs matériaux : c'est uniquement leur mode d'arrangement, leur ordonnance en couches plus ou moins distinctes ou passant de l'une à l'autre. Il s'ensuit dès lors, que la stratigraphie, dépendant à la fois de la diversité minéralogique et de la variabilité pétrographique des différents produits sidérolithiques, doit elle-même présenter à un très haut degré cette même puissance de variabilité. Et cependant, si varié que soit l'aspect des dépôts ou des gisements, il y a toujours quelque chose qui permet leur identification d'abord, leur rapprochement ensuite. Ce quelque chose de commun à tous les dépôts sidérolithiques, qui apparaît plus ou moins nettement suivant les cas et qui exprime sous ses divers aspects l'action sidérolithique elle-même ; c'est *le faciès*.

Ce faciès caractérise essentiellement et d'une façon générale tous les produits d'altération superficielle, par suite tous les Sidérolithiques. Il est la traduction du travail complexe et varié de l'altération superficielle continentale des sédiments et, s'il garde dans ses grandes réalisations quelque chose de stable, de constant, qui permet de le reconnaître, il peut aussi, dans ses réalisations de détail, faire preuve d'une variabilité étonnante. De là d'abord, la différenciation, l'individualisation de ce faciès pour les différents types sidérolithiques, puis, sa spécialisation, poussée encore plus loin, pour les différents produits d'un seul et même type sidérolithique. En d'autres termes, le faciès sidérolithique traduit

une action constante, mais il exprime aussi les variations qui se sont produites dans sa réalisation. Faut-il alors admettre autant de *faciès* qu'il y a de *types* sidérolithiques différents ? Je crois qu'on en a le droit, à la condition cependant, de reconnaître un faciès général, auquel se rattachent des faciès dérivés, différenciés par l'action influente de certains facteurs locaux.

Dans le cas du Sidérolithique proprement dit, le faciès est caractérisé par les minerais de fer en grains, les bohnerz, c'est-à-dire, que les formations sidérolithiques de ce groupe sont ou peuvent être accompagnées de bohnerz. Mais ici encore, ce faciès dérivé comporte des spécialisations, auxquelles on a donné à tort le nom de faciès, car ce sont moins des faciès proprement dits que des arrangements particuliers des matériaux dans les dépôts. Quoiqu'il en soit, je veux bien conserver cette appellation, mais en faisant observer de suite, que ces derniers faciès sont avant tout d'ordre stratigraphique et qu'en cela, ils s'opposent aux faciès dérivés qui sont plutôt géographiques, chacun ayant une composition pétrographique particulière.

Ces considérations sont précisées et complétées par le schéma suivant :

I. Faciès sidérolithique général.

II. Faciès sidérolithique à bohnerz.

(*F. dérivé et géographique.*)

(*Faciès secondaires et stratigraphiques.*)

A	B
1) F. argileux (= des bols).	4) F. bréchoïde
2) F. siliceux (= des sables).	5) F. ossifère.
3) F. calcaire.	

Tous ces faciès sont caractérisés par la nature pétrographique de leurs roches. Ils sont les types principaux d'une série à formes mixtes, à termes de passage d'un type à l'autre. En outre, dans bien des cas, certains d'entre eux peuvent se superposer, se combiner plus ou moins pour aboutir à des formes souvent complexes.

Le faciès argileux ou *faciès des bols* (*Bolusfacies* des géologues allemands) est le plus répandu, le plus régulier et le plus caractéristique de tous. Il est représenté par des argiles ordinairement stratifiées, c'est-à-dire, disposées en bancs superposés, de composition et d'aspect très variables. Les bols rouges, jaunes, parfois aussi les argiles plus riches en alumine y sont très développées. Le fer y existe soit sous forme de pisolithes enclavées dans la masse argileuse, soit sous forme de masses amorphes ou de simples imprégnations : la silice en grains est un des éléments constitutifs des bols, mais elle ne forme pas de banc, pas plus que le calcaire, du moins dans les types purs du faciès argileux. Suivant que le fer en grains est ou n'est pas en banc à la base des argiles, on a : *le faciès argileux à bohrerz* ou *le faciès argileux stérile*.

Le faciès siliceux ou *faciès des sables* (*Quartzsand faciès*, *Hupperfacies* des géologues allemands) est plus sporadique que le précédent qu'il accompagne ordinairement. Son isolement est dû le plus souvent à l'érosion. Ses matériaux sont les sables siliceux, purs ou mélangés, blancs ou colorés et les terres réfractaires, riches en alumine. La stratification est moins nette que pour le faciès argileux, mais elle existe souvent, bien que les dépôts de ce faciès soient ordinairement des remplissages de poches ou de crevasses. Le faciès siliceux se superpose souvent au faciès argileux en intercalant ses matériaux sous forme de bancs ou de lentilles dans les argiles. Les pisolithes ne forment pas de bancs et sont très rares, il n'y a guère que des concrétions.

Le faciès calcaire se place à côté des deux précédents à cause de la régularité des bancs calcaires qui accompagnent les autres formations sidérolithiques. Il est représenté par des calcaires d'eau douce très divers d'âge et de composition. Ce faciès n'est sidérolithique qu'*occasionnellement*.

Le faciès bréchoïde est caractérisé par des formations très particulières : les calcaires de Daubrée, brèches, gompholithes, etc.... Ces formations ne sont sidérolithiques que

par leurs matériaux : elles résultent du remaniement du Sidérolithique régulier. Elles sont ordinairement disposées en bancs, à la partie supérieure des assises sidérolithiques, mais assez souvent aussi, elles ne les accompagnent pas directement : elles sont isolées. Leur composition, leur âge sont très variables. Leurs matériaux sont : 1° Des galets roulés, corrodés, etc..., empruntés surtout aux roches qui forment le substratum du Sidérolithique, comme aussi parfois à d'autres formations. 2° Un ciment calcaire, formé d'une pâte homogène très ferrugineuse ou d'une sorte de brèche à petits éléments. 3° De nombreuses pisolithes ¹⁾ de fer, brisées et altérées. La roche est compacte et parfois très dure : elle se désagrège sous l'action atmosphérique et donne une accumulation de galets et de pisolithes. La stratification consiste dans l'arrangement des éléments : on a tantôt une brèche à gros éléments, tantôt une sorte de grès ferrugineux à éléments de taille uniforme, tantôt même des calcaires rouges ou jaunes, empâtant des pisolithes de fer, etc...

Le faciès ossifère est représenté par une sorte de brèche mécanique formée d'ossements et de matériaux sidérolithiques accumulés. Les types de ce faciès sont plutôt rares et ordinairement très localisés. Les matériaux ne sont pas stratifiés, en règle générale du moins.

Par les faciès, nous pouvons établir une classification générale des dépôts sidérolithiques et reconnaître par exemple :

- 1° Les dépôts réguliers, stratifiés.
- 2° Les dépôts irréguliers, sans stratification apparente.
- 3° Les dépôts remaniés.
- 4° Les dépôts anormaux. (Gisements anormaux des auteurs).

A un autre point de vue, au lieu de ces quatre groupes, on peut aussi n'en admettre que deux :

- 1° Les dépôts en place.
- 2° Les dépôts non en place, remaniés.

¹⁾ Assez souvent les grains de fer des gompholites sont de fausses pisolithes, sans structure à zones concentriques. Ce sont des grains de fer amorphes, provenant des débris roulés.

Mais dans ce cas, le critérium de classification cesse d'être le faciès pour devenir d'ordre mécanique, tectonique. Je crois dès lors préférable de m'en tenir à la première classification et d'admettre les quatre groupes.

A. Les dépôts sidérolithiques réguliers.

1. *Dépôts réguliers à faciès argileux.*

D'après ce qui vient d'être dit, il est facile de comprendre, que le type stratigraphique le plus parfait sera celui qui résultera de la combinaison du plus grand nombre de faciès, tout en restant régulier bien entendu. Il serait facile de schématiser ce type parfait par des coupes très ingénieuses, mais qui auraient l'inconvénient de n'exister que sur le papier. Je préfère m'en tenir aux réalités, estimant que les faits sont préférables aux hypothèses. Mais ici, il est nécessaire de faire une observation. L'arrêt ou plus justement la baisse de l'industrie sidérurgique suisse ayant considérablement réduit l'exploitation minière, il est bien difficile de faire de nouvelles observations, principalement sur la stratigraphie générale des gisements. Aucun puits nouveau n'a été foncé ces derniers temps et dans ceux qui sont en activité, on ne peut étudier que les galeries, soit, la base du Sidérolithique. Heureusement, que l'ingénieur Quiquerez nous a conservé les coupes des puits qui ont été foncés dans le Jura, en si grand nombre, vers le milieu du siècle dernier. Le manuscrit de Quiquerez a été publié, en partie, par le Dr Rollier; je lui ferai de nombreux emprunts.

Dans l'examen de la dispersion géographique des matériaux sidérolithiques, j'ai montré que les gisements réguliers occupaient, presque sans exception, le fond des plis synclinaux et que le développement des formations sidérolithiques elles-mêmes se localisait dans ce que j'ai appelé « les centres de formation ». Il est dès lors rationnel de commencer ces études par les gisements des environs de Delémont, centre de formation du bassin jurassien et magnifique vallée synclinale, la plus fouillée et la plus connue.

Bien que très régulier et très développé, le Sidérolithique de la Vallée n'est cependant pas si uniformément constitué, qu'une seule coupe puisse traverser l'ensemble des couches. En effet, si d'une façon générale le Sidérolithique remplit le fond de la cuvette, ses différentes couches sont fréquemment interrompues : elles passent les unes aux autres, formant souvent des lentilles plus ou moins considérables : par contre, en rapprochant plusieurs coupes convenablement choisies, on peut en obtenir la série complète. Je donne plus loin un certain nombre de ces coupes : je vais les résumer dans le tableau suivant :

- I. *Sidérolithique supérieur* : Alternance variable de couches argilo-siliceuses, fréquemment gypseuses et de bancs calcaires ou de conglomérats : 4 à 60 m.
- II. *Sidérolithique moyen* : Alternance de couches argilo-siliceuses, moins ferrugineuses, plus réfractaires : 5 à 25 m.
- III. *Sidérolithique inférieur* : Alternance de couches argilo-siliceuses, quelquefois sableuses et plus ferrugineuses encore, réfractaires, avec bonherz en bancs à la base ou disséminés dans la masse : 2 à 12 m.

A lui seul, le Sidérolithique sup. est plus puissant que les deux autres réunis. Il est vrai, que dans bien des cas, sa délimitation d'avec le superstratum est si délicate, qu'on a le droit de se montrer sceptique à l'égard de certaines affirmations. Quoiqu'il en soit, les chiffres qui sont donnés plus haut sont des maxima et des minima, qui ont été rencontrés dans quelques gisements. Il est ordinairement formé par des argiles, que le Dr Greppin désignait sous le nom de *Terre jaune* et que je considère comme un bol incomplet, rudimentaire. Ce sont des argiles tantôt légèrement calcaires, tantôt siliceuses et que j'ai décrites déjà. Elles forment des couches souvent très facilement reconnaissables par leur coloration jaune, rouge, ou même bariolée. Souvent, elles sont tachetées de points blancs, verdâtres au centre, que les mineurs appellent « œils ». Le fer en grains y est rare, très disséminé : le gypse en blocs, en rognons ou en filons, assez

fréquent. Elles renferment également souvent des formations calcaires : raitsches, conglomerats, etc...

Au puits Blancherie, le Sidérolithique supérieur mesure un peu plus de 12 m. Il comprend de haut en bas :

Une couche d'argiles jaune-rose,	0 m. 60.
Une couche d'argiles également jaune-rose, plus calcaires, tachetées,	6 m. 60.
Une dernière couche de ces argiles jaunes ou rouges, mélangées,	4 m. 80.

Dans d'autres gisements, il n'y a qu'un banc de Terre jaune, sans stratification apparente. Mais, déjà Greppin admettait que dans le val de Delémont, la « raitsche » est intercalée dans la « Terre jaune ». Je crois pouvoir maintenir sa manière de voir et je désigne d'ailleurs l'ensemble du Sidérolithique supérieur par cette appellation de « Terre jaune » ¹⁾.

Le Sidérolithique moyen est essentiellement formé d'argiles qui tendent vers le type plastique. A la base du Sidérolithique supérieur, apparaissent souvent des argiles grasses, onctueuses, réfractaires qui sont le terme de passage à celles du Sidérolithique moyen. Ces dernières ne sont jamais très développées. Le Dr Greppin les divisait en trois groupes :

- 1° La terre cendrée, argile gris-cendré, calcaire et peu siliceuse.
- 2° La terre visqueuse, argile grasse, onctueuse, encore calcaire et peu réfractaire.
- 3° Les Morceaux : *Stücker*, *Möcke* des Allemands, formés par une argile jaune, moins calcaire, devenant souvent réfractaire à la base.

Toutes ces argiles sont peu ferrugineuses : c'est leur caractère le plus frappant. Leur coloration, ordinairement grise, sombre, est cependant quelquefois bigarrée. Dans quelques cas, elles sont nettement plastiques. D'autres fois, mais

¹⁾ Cette « Terre jaune » est incontestablement sidérolithique, son âge par contre, peut être discuté, comme nous le verrons plus loin.

très rarement, elles renferment des formations calcaires comparables à celles de la « Terre jaune ». Le gypse n'y est pas rare.

Le Sidérolithique inférieur, moins puissant que le supérieur, l'est ordinairement plus que le moyen. Il comprend surtout les bolus rouges et les bohnerz. Greppin réservait cette appellation de bol, aux argiles sidérolithiques inférieures, mais il est bien évident, qu'elle convient également à quelques autres encore. D'ailleurs, même les bols inférieurs sont très variables d'aspect et de composition.

Ordinairement, les bols sont durs, rouges ou jaunes, rarement gris ou blancs. Ils sont réfractaires. Ils passent quelquefois au sable siliceux, jaunâtre ou blanc. Comme la « Terre jaune », ils sont souvent mouchetés de blanc ou même de violet (Oberdorf).

Les bols blancs dont parle Quiquerez sont sans doute du hupper ; les bols sont, en effet, par définition, des argiles ferrugineuses, donc colorées, surtout dans le cas des argiles sidérolithiques.

C'est dans les bols que sont surtout accumulées les pisolithes de fer, tantôt disséminées, tantôt très rapprochées et formant alors un véritable banc, une sorte de filon.

M. Isser ¹⁾ distingue dans la couche des bohnerz :

- 1° Une zone contenant 10 % de grains : 0^m50 (Partie sup.)
- 2° » » » 30 % » : 0^m70
- 3° » » » 50 % » : 0^m80 (Partie inf.)

Les mineurs disent ordinairement que « la mine est riche, ou maigre » suivant que les grains sont très rapprochés ou disséminés ²⁾.

Les bols eux-mêmes ne sont d'ailleurs pas du tout homogènes et assez fréquemment, ils se superposent par couches bien distinctes. On pourrait admettre assez justement la stratification suivante :

¹⁾ ISSER : *Die Bohnerzlager von Delémont*. Oester. Zeitschrift. f. Berg. 1896.

²⁾ On admet que le minerai rend à peu près 60 % au lavage et 40 à 50 % à la fusion. On arrête l'exploitation dès que la couche ne donne pas au moins, 20 à 25 % de minerai.

Bol supérieur.

(Fleur supérieure).

Bol du banc des bohnerz.

(Fleur inférieure).

Bol inférieur ou bol de roche.

Les bols supérieurs sont ordinairement très semblables à ceux du banc des bohnerz ; mais ils sont moins riches en fer pisolitique. Tantôt ils sont jaunes, tantôt rouge-brique ou même gris-sale : ils passent alors souvent au sable siliceux ou alumino-siliceux. Les bols inférieurs sont ordinairement plus distincts : leur coloration est d'ordinaire jaune, brun-clair : ils sont durs et brillants, ne contiennent que peu de fer et reposent directement sur le substratum calcaire.

Lorsque les bohnerz forment un banc régulier, les bols servent encore de ciment à leur *poudingue*. Ce banc est ordinairement délimité, en haut et en bas également, par une zone mince d'une efflorescence blanchâtre, très réfractaire, de silicate d'alumine et que les mineurs appellent *la fleur*.

Mais très souvent, le banc de bohnerz manque : c'est le faciès des bols stériles ; mais à part l'absence du fer en grains formant couches distinctes, la stratigraphie reste telle qu'elle vient d'être décrite,

En résumé, la stratigraphie des gisements réguliers est très complexe : elle comprend toute une série d'assises se superposant et dont la coloration traduit la diversité pétrographique. Cette stratigraphie peut se représenter ainsi :

<i>Sidérolithique régulier complet.</i>	I. Sid. supér.	La Terre jaune du Dr Greppin. {	Couches d'argiles, jaunes, rouges, bariolées ; gypseuses, peu réfractaires, peu ferrugineuses. Conglomérat, calcaire d'eau douce, fossilifères, en bancs, en lambeaux, dans les argiles : 4 à 60 ^m
	II. Sid. moy.	Les Terres {	Terre cendrée, grise, calcaire : 2 à 15 ^m Terre visqueuse, grasse, onctueuse, calcaire : 1 à 5 ^m Les morceaux, argile jaune, rouge, réfractaire : 2 à 6 ^m
	III. Sid. inf.	Les bols {	Les bols rouges, jaunes ; les sables : Les bohnerz, en bancs, (avec les fleurs) : Le bol de roche : 1 à 15 ^m

La puissance des dépôts les plus développés dépasse rarement 70 à 75^m 1).

Bien qu'établie d'après des coupes rigoureusement relevées, la stratigraphie complète des gisements réguliers, telle qu'elle vient d'être décrite, est cependant une exception. Pour l'ordinaire, elle est bien moins complexe.

J'ai déjà mentionné le fait, que certaines couches avaient une tendance à s'interrompre plus ou moins brusquement, pour former des lentilles, d'étendue souvent considérable, s'intercalant dans la série des assises régulières. Cette tendance est commune à toutes les couches. Les mêmes assises, qui dans une région donnée sont régulières, continues, peuvent brusquement et à peu de distance, devenir très irrégulières, se morceler en lambeaux, etc... Le Sidérolithique du val de Delémont est à cet égard très curieux par l'ammoncellement imbriqué de ses assises, tantôt en couches longuement continues, tantôt en lentilles disséminées dans la masse. Le banc de bohrerz est à ce point de vue très caractéristique par son allure irrégulière, interrompue. La coexistence des assises n'est d'ailleurs presque jamais complète ; certaines d'entre elles, paraissent avoir une répulsion réciproque et la présence, ou le développement des unes entraîne la suppression des autres. Par exemple, le développement de la couche dite des *morceaux* annonce que celle des *bols* sera réduite, etc.

L'absence d'une ou de plusieurs couches, dans un gisement, peut s'expliquer par plusieurs causes :

- 1^o Le phénomène sidérolithique ne s'étant pas manifesté partout avec la même intensité, certaines couches peuvent parfaitement n'avoir pas existé dans certains gisements : c'est le cas de *l'absence originelle*.
- 2^o Le métamorphisme, particulièrement l'hydro-métamorphisme, ont pu transformer plus ou moins complè-

1) Cependant au puits Gréby (N.-W. de Delémont), les argiles jaunes mesurent à elles seules 87^m au moins. (Rollier, p. 88, II^e supplément).

tement certaines couches, au point, qu'il est impossible de les distinguer : ces couches existent donc et leur absence n'est pas réelle, c'est *le cas de l'absence apparente*.

3° Enfin, les phénomènes tectoniques, l'érosion continentale aussi, ont souvent supprimé, même totalement, certaines assises qui avaient été régulièrement déposées : c'est *le cas de l'absence accidentelle*.

Et cependant, dans tous ces cas, il est bien évident que les gisements ainsi altérés, peuvent appartenir au type régulier : ils sont seulement incomplets ; mais tandis que les uns le sont accidentellement, les autres le sont originellement. D'ailleurs, le fait important qui domine ici, c'est moins la puissance de variabilité des assises, que leur division grossière en trois groupes superposés, passant de l'un à l'autre, étroitement unis et cependant si nettement distincts.

La conclusion naturelle de ces considérations, c'est que la stratigraphie des gisements réguliers est complexe et variable et que même dans le cas des types cependant réguliers, il peut exister une stratigraphie rudimentaire.

Les dépôts sidérolithiques des environs de Delémont sont ordinairement assez complets (Puits du Cras Franchier, de Blancherie, de Traversin, des Rondez, etc...); les trois grandes divisions y sont en général très reconnaissables.

Au puits Bitter, près du Tirage, un calcaire lacustre a été relevé par 88^m5 de profondeur, séparé des bohnerz par 3 mètres de « Terre jaune ».

Au puits Heitsch, les bohnerz forment deux couches superposées, séparées par des bols.

J'ai d'ailleurs observé quelque chose d'analogue dans une galerie du puits Traversin. Vers la base des bols rouges, se voient des bancs sableux blancs, jaunâtres, disposés en lentilles de 50 à 70 cm. d'épaisseur, sur 7 à 8 m. de longueur, du moins tant que j'ai pu en juger. Quelquefois même, il y a deux niveaux sableux. Non loin de ces sables se rencontrent des dépôts également en lentilles, formés par une accumulation de minerais pisolithiques, dans des bols grisâ-

tres, siliceux. Le gypse y forme des lamelles entre les grains de fer. On y trouve des galets roulés, impressionnés, jurassiques, des calcaires d'eau douce; ceux que j'ai recueillis ne sont pas fossilifères, mais ils emparent des pisolithes de fer. L'allure de ces dépôts est très curieuse: pour peu je dirais qu'elle rappelle une stratification torrentielle. Ces faits, assez



Fig. 5

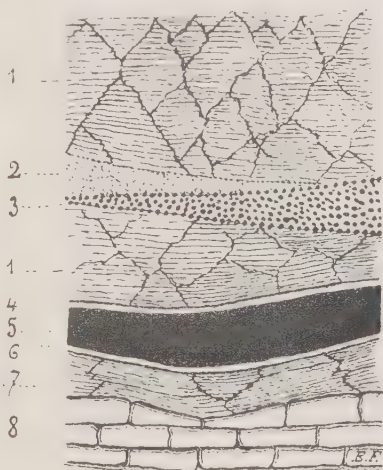


Fig. 6

Coupes relevées dans les galeries du puits de la Blancherie
(Delémont).

L É G E N D E

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1. Bol rouge, jaune (infér.). | 5. Banc des bohnerz. |
| 2. Sable siliceux. | 6. Fleur (inf.). |
| 3. Bohnerz lévigé (= Flötz). | 7. Bol de roche (brun). |
| 4. Fleur (sup.). | 8. Kimmérien. |

Echelle $\frac{1}{100}$

rars vers le milieu de la Vallée, sont beaucoup plus fréquents vers l'extrémité occidentale, où Quiquerez les a décrits: il donne le nom de *Flötz* à ces minerais, qu'il attribue au charriage par l'eau, à l'alluvionnement. Je lui emprunte quelques coupes:

Séprais, Aux Boulies ¹⁾.

Galets vosgiens :	1 m. 20
Argiles bigarrées :	1 m. 20
Floetz en petits grains :	1 m. 20
Roche calcaire en bancs minces.	
en blocs isolés, galets calcaires :	0 m. 60
Argiles blanches et réfractaires :	1 m. 20
Argiles bigarrées :	3 m. —
Bohnerz :	0 m. 90

Aux Cerneux-Boulies. 1. Puits foncé en 1879. 2. id. en 1880.

Galets calcaires et-vosgiens :	0 m. 9	0 m. 60
Argiles bigarrées :	0 m. 75	0 m. 75
Galets et sables mollassiques :	0 m. 15	—
Floetz en grains :	0 m. 60	0 m. 75
Argiles bigarrées, rognons calc. :	3 m. 45	3 m. 75
Bohnerz sur le Kimmeridien :	0 m. 45	0 m. 75

Dans quelques cas, presque toujours sur la bordure de de la Vallée, on observe des phénomènes de remaniement. Vers Develier, la coupe du Sidérolithique inférieur est la suivante :

Bolus bigarré.	
Bohnerz et brèches :	0 m. 15
Bohnerz, sable calcaire, galets :	0 m. 15
Bohnerz, brèches :	0 m. 15
Bohnerz purs :	0 m. 15
Kimmeridien.	

Les brèches ferrugineuses ou conglomérats de Daubrée, qu'il ne faut pas confondre avec les brèches de remplissage purement mécaniques, ont une stratification souvent très nettement torrentielle. On peut en voir de beaux exemples dans la vallée de Soulce (S. de Delémont).

Bien que ce qui vient d'être dit concerne plus spécialement le Sidérolithique du Jura central, des environs du val

¹⁾ Voir in Rollier, II^e supplément, p. 79.

de Delémont en particulier, on peut cependant l'appliquer d'une façon générale à toute la région orientale du bassin jurassien. Les gisements soleurois et argoviens sont, d'ailleurs parfois, aussi complets que ceux du Jura bernois. J'ai donné plus haut une coupe du Sidérolithique d'Oberdorf (Soleure), (p. 55).

A l'W., les gisements sont très rares: il n'y a guère que celui d'Orbe qui mérite d'être cité.

Le Sidérolithique des dents du Midi peut être rapproché des gisements réguliers, bien que certaines de ses assises semblent remaniées. Voici une coupe relevée au-dessus du glacier de Soix, par MM. E. Favre et H. Schardt:

- | | |
|--|---------|
| 1. Poudingue calcaire avec nodules calcaires et siliceux : | 1 m. 20 |
| 2. Marne sableuse jaune, verdâtre ou rouge : | 0 m. 40 |
| 3. Poudingue-brèche calc. à fragments souvent anguleux : | 5 m. — |
| 4. Grès jaune et marne ferrugineuse (bolus) : | 0 m. 40 |
| 5. Poudingue calcaire compact : | 2 m. — |
| 6. Grès jaune-verdâtre ou roux, ferrugineux et sableux
avec fer pisolithique et grains de quartz trans-
lucide : | 1 m. 30 |
| 7. Poudingues à galets roulés (urgoniens) : | 4 m. — |
| 8. Grès dur, jaune, roux, avec gros fragments de calcaire
remplissant des veines, des poches dans le cal-
caire urgonien corrodé : | 0 m. 50 |

Ainsi que je l'ai fait observer déjà, l'allure de la couche des bohrerz est très irrégulière. Dans le val de Delémont, par exemple, où elle est bien connue, elle atteint son maximum de développement et de régularité vers le centre; sur les bords, elle est moins développée, plus remaniée etc... Toutefois, il est intéressant de remarquer que les anciens mineurs exploitèrent d'abord les gisements sidérolithiques découverts sur les bords de la cuvette synclinale: ce n'est que vers le commencement du siècle dernier, que le système des puits a remplacé celui des galeries inclinées. Tous les puits forés aux environs de Delémont n'ont pas rencontré les bohrerz et il n'est pas rare, que dans une exploitation régulière, la couche du fer en grains fasse presque brusquement défaut. Les phénomènes tectoniques ne jouent cependant ici aucun rôle: la couche n'est pas déjetée, elle s'éteint simplement, pour re-

naître plus loin. Pour ce motif, il semble, que les bohnerz forment moins une couche qu'un niveau marqué par des amas en lentilles, d'étendue parfois assez grande et dont l'épaisseur peut atteindre jusqu'à deux mètres.

Ne pouvant m'arrêter plus longtemps sur ces questions, je me contenterai de résumer rapidement quelques-unes des principales observations faites par A. Quiquerez ¹⁾.

*Puits dans lesquels la couche des bohnerz
n'a pas été rencontrée.*

	Profondeur :
Bassecourt : (..... ; 12 sept. 1865)	37 m. 65
Berlincourt : (N.-W. du village ; 1867)	16 m. 20
id. . . (Puits de l'Avenir ; 1866)	15 m. 60
Corban : (Pied du Plain-Fayen ; 1854)	8 m. 10
Courroux : (Dos les fosses ; ?)	20 m. 40
id. (Derrière la forge ; 1856)	45 m. 00
id. (Vers les Maisons : ?)	72 m. 00
Delémont : (Près Gréby ; 1854)	133 m. 05
id. (Puits Pallain ; 1878)	48 m. 00
id. (Les Rondez ; 1866-67)	79 m. 50

Dans tous ces puits, les bohnerz ne sont pas en couche; du moins leur couche n'y a pas été rencontrée, si ce n'est parfois dans les galeries. Les fouilles ont toujours été poussées jusqu'à la rencontre du calcaire kimmeridien, qui forme le substratum régulier du Sidérolithique des environs de Delémont. Enfin, l'examen des coupes données par Quiquerez permet d'attribuer la plupart de ces dépôts au Sidérolithique régulier, incomplet, à faciès argileux ou plus spécialement à faciès des bols stériles.

2. Dépôts réguliers à faciès siliceux.

Contrairement à ce qu'on croit d'ordinaire, tous les dépôts de sables siliceux sidérolithiques (- hupper) ne sont pas

¹⁾ L. ROLLIER : II^e supplément, p. 81-93, 1898.

irréguliers : plusieurs sont nettement stratifiés et méritent d'être étudiés très attentivement.

Et d'abord, je rappellerai que les plus intéressants, comme aussi les plus importants sont :

I. Le groupe du Jura bernois central, comprenant ceux de la vallée de Moutier, (au S. W. : pâturage communal, La Crâtre, Petit-Champoz, etc... : au N.-W. : Champ-Vuillerat, près du Stand...) ; des environs de Souboz, vers les Ecorcheresses.

II. Le groupe de la vallée de Court-Tavannes, comprenant ceux de Champ-Chalmé, au N.W. de Court ; des environs de Tavannes, de Loveresse, de Saincourt, du Fuet, etc...

Je crois pouvoir rapprocher de ce groupe les dépôts de la vallée de la Dünnern (Soleure), de Matzendorf et aussi celui de la Bottière, près de Bellelay.

III. Le groupe de Longeau (Lengnau), à la limite des cantons de Berne et de Soleure, sur la bordure interne du Jura.

IV. Le groupe du Jura bâlois, comprenant surtout les beaux gisements de Lausen (près de Liestal).

Tous ces gisements sont en réalité stratifiés, tout aussi bien que ceux qui ont été décrits et étudiés précédemment. Mais comme très souvent, les sables sont peu ferrugineux et par suite presque incolores, blancs s'ils sont purs, la distinction des couches y est souvent très difficile.

A Lausen par exemple, au Kohlholz, une coupe du gisement de hupper donne la stratigraphie suivante :

1. Le recouvrement quaternaire et la terre végétale.

2. Une couche régulière de bolus rouge-brun avec concrétions ferrugineuses ou siliceuses : 5 m.

3. Une couche de calcaires brisés et morcelés.

Ceux de la partie supérieure sont blancs, peu siliceux, non fossilifères, ceux de la partie inférieure, au contraire, sont plus siliceux, blancs, jaunes, rouges et très riches en Planorbes. L'ensemble mesure près de 6 m.

4. Enfin, le hupper, formant un amas dont la puissance n'est pas exactement connue ; l'exploitation lui donne plus de 10 m.

Il est formé par plusieurs zones superposées, calcaires vers le haut, devenant siliceuses vers le bas. Les sables blancs, purs, passent même au grès ou à la quartzite (Katzenköpfe).

A Moutier, à la Crâtre, la série est à peu près la même, à cette différence près cependant, qu'entre le calcaire (ce n'est pas le même qu'à Lausen) et le hupper, s'intercalent des argiles plastiques, onctueuses, formant une couche de plusieurs mètres d'épaisseur qui passent au hupper, d'abord un peu calcaire, jaune-sale, puis très pur à gros grains, puis enfin à éléments plus fins. Dans les couches supérieures, le hupper est souvent coloré par des oxydes métalliques, en jaune, en rouge ou en violet. Le fer lui-même y forme des zones, peu épaisses (6-10 cm.) de concrétions disposées en banes. C'est dans les sables blancs purs que se rencontrent les concrétions de silicates ou d'hydrates d'alumine. Le passage du hupper à gros grains à celui à fins éléments est marqué par des rognons de quartzite ou des blocs gréseux, disposés en banes: le tout est subordonné au bol rouge gréseux.

La même allure se présente également dans les poches de Longeau. Dans cette dernière localité, il y a six grandes poches, dont trois ne sont pas exploitées, je crois. Du fait que l'affleurement supérieur est formé par des bols et non par des sables, il ne faut pas en conclure que ces derniers n'y existent pas; au contraire, cette stratification est absolument normale et on la retrouve fréquemment à Moutier (à la Crâtre) et dans la vallée de Delémont.

Au Champ-Vuillerat, au N.-W. de Moutier, on voit encore toute une série de couches de sables diversement colorés, rappelant parfois ceux qui forment les assises supérieures du dépôt de la Crâtre. Comme dans ce dernier gisement, le fer en grains y est plutôt rare; par contre, il y a souvent des concrétions. La caractéristique des sables de Champ-Vuillerat est dans leur passage à un calcaire d'eau douce à faune et flore éocènes.

Plusieurs gisements de hupper ont été décrits par les

géologues jurassiens : je ne crois donc pas nécessaire de m'y arrêter plus longtemps. Tous ceux qui sont un peu importants sont des remplissages de poches énormes ou de crevas-ses agrandies. La plupart sont des dépôts réguliers stratifiés : tous sont incomplets au point de vue stratigraphique. Le fer n'y existe que sous forme de concrétions ou d'imprégnation.

La position stratigraphique du hupper et des sables à la base du Sidérolithique est démontrée par ce qui a été dit plus haut, mais aussi par les coupes laissées par Quiquerez et relevées dans le val de Delémont. La plupart des dépôts qui viennent d'être cités sont les racines d'anciennes nappes sidérolithiques que l'érosion a enlevées : tous sont en effet situés en des régions où l'abrasion a été très puissante. On peut parfaitement les considérer comme comparables aux dépôts sableux trouvés à la base du Sidérolithique stratifié. Nous savons en effet, que si les sables s'intercalent parfois en bancs dans les bols, ils peuvent aussi former à la base de ceux-ci des accumulations, qui remplacent la couche de fer en grains. Le puits ouvert à Courroux (Dos les fosses) a rencontré, par 12 m. de profondeur, une couche de sable quartzeux bigarré, rose, blanc, jaune-rouge de plus de 8 m. d'épaisseur et reposant sur le Jurassique.

En résumé, les dépôts de sables et de hupper doivent être rapprochés des gisements sidérolithiques réguliers : ils sont stratifiés. Leur faciès est toujours mixte : il résulte de la superposition des faciès argileux et siliceux. Ce sont des dépôts réguliers, mai souvent incomplets.

La position stratigraphique des sables, du hupper, est bien à la base des assises argileuses. Les sables sont plutôt de simples accidents : par contre, la présence du hupper semble correspondre à l'absence du fer en grains, en couche. A part les bancs (lentilles) intercalés dans les bols, les dépôts de ces matériaux sont ordinairement des remplissages de cavités creusées dans le substratum sidérolithique. En général, les dépôts réguliers sont en place et non remaniés.

Types principaux des dépôts réguliers.

I. Faciès argileux.

II. Faciès argilo-siliceux.

	<i>a) Delémont</i> (Puits Koller).	<i>β) Courroux</i> (Puits Dos les fosses)	<i>γ) Moutier</i> (La Crâtre).
Sidér. supér.	Terre jaune violacée: 58 ^m 8	Terre jaune bigarrée avec böhnerz, rare, 0 ^m 60.	Terre jaune et bol brun: près de 10 ^m
Sidér. moyen	Terre visqueuse; (moceau): 15 ^m	—————	Argile plastique, bi- garrée: 6 ^m
Sidér. infér.	Bol rouge, 1 ^m 80 Böhnerz, 1 ^m 50	Böhnerz brun pau- vre: 0 ^m 30 et bol gris passant au sa- ble siliceux: 8 ^m 40	Hupper en couches avec calcaires et fer en concrétions: 12 ^m
→	<i>Böhnerz</i>	<i>Sables siliceux</i>	<i>Sables alumineux</i>

B. Les dépôts sidérolithiques irréguliers.

Les dépôts irréguliers sont caractérisés soit par l'absence de stratigraphie dans leurs matériaux, soit par une stratigraphie propre, mais toujours rudimentaire. Ce sont en général des dépôts en place; mais il est souvent difficile d'affirmer qu'ils n'ont subi aucun remaniement.

Parmi ces dépôts se placent en première ligne les remplissages des poches et des crevasses, qui, en général, ne sont pas stratifiés; on constate seulement une sorte d'arrangement grossier des matériaux.

On pourrait également, en rapprocher certains dépôts incomplets qui sont réduits à quelques couches de bols englobant des pisolithes. Mais encore, il est souvent difficile de savoir jusqu'à quel point ces gisements ont conservé leur allure primitive; leur aspect actuel peut être le résultat de transformations mécaniques ou chimiques, (érosion, bouleversements, dissolutions, métamorphismes hydro-chimique etc...). Pour tous ces motifs, je crois qu'il est plus prudent de ne donner qu'une faible importance aux dépôts de ce

groupe. Primitivement, les dépôts sidérolithiques étaient sans doute, en général, réguliers et stratifiés ; la disparition de la stratification doit être le fait de l'érosion et alors dans ce cas, les dépôts que l'on serait tenté de considérer comme irréguliers appartiennent plutôt, semble-t-il, au groupe des dépôts remaniés.

C. Les dépôts sidérolithiques remaniés.

Ces dépôts sont très nombreux, très variés d'allure et d'aspect. Ils se divisent naturellement en deux sous-groupes :

1. Les dépôts résultant d'un remaniement sur place : ce sont les dépôts remaniés *in situ*.

2. Les dépôts dus au remaniement accompagné ou suivi du déplacement des matériaux : ce sont les dépôts remaniés, charriés ou éboulés.

Dans tous ces dépôts, la stratification est très particulière et elle s'écarte en général de celle des dépôts réguliers. La nature pétrographique des matériaux a parfois aussi subi des transformations ; l'action mécanique (bouversements, charriages, etc.) a été accompagnée d'actions chimiques diverses (dissolution, hydro-métamorphisme, etc.) attribuables aux agents du remaniement : les eaux superficielles et celles d'infiltration.

1. Dépôts remaniés « *in situ* ».

Les dépôts les mieux caractérisés de ce groupe sont. les bohrerz lévigués en amas, les sables en bancs intercalés dans les assises des bols et enfin de très nombreux remplissages de poches.

Précédemment, à propos des dépôts réguliers, j'ai mentionné déjà des couches de ces bohrerz et de ces sables. Je rappellerai brièvement leur allure, au puits Blancherie, à Delémont. Les bols inférieurs du dépôt régulier contiennent, intercalés dans leur masse, des amas lenticulaires ou allongés en traînées, des sables blancs, jaunes, purs ou passant au

lupper alumineux et des bohnerz lévigués. Dans la galerie, la coupe relevée se présente ainsi, de haut en bas :

- a) Bolus régulier jaune-rouge, avec grains de fer.
- b) Sable blanc en couche, 0 m. 60
- c) Sable jaune, très fin, passant au grès, 0 m. 07
- d) Bolus rouge régulier, 0 m. 45
- e) Minerai régulier (couche du bohnerz), 0 m. 85

Les couches *a* et *e* appartiennent aux assises régulières du dépôt et ce sont elles qui ont subi le remaniement. On dirait qu'un cours d'eau souterrain s'y est ouvert un passage irrégulier, torrentiel, puis l'a comblé de sables et de bohnerz. En effet, l'examen attentif des coupes, que l'on pourrait relever dans les galeries du puits, montre que les dépôts de ces sables et de ces bohnerz sont surtout disposés en coulées : ce sont moins des amas lenticulaires que des sortes de filons allongés et peu homogènes. (Voir p. 137, fig. 5 et 6.)

Les dépôts de ce genre sont assez fréquents. Quiquerez en mentionne plusieurs. Il désigne assez souvent les bohnerz sous le nom de *flætz* ou de mine pauvre. Les coupes qu'il donne de Séprais (val de Delémont) sont à cet égard très intéressantes ¹⁾.

Assez souvent aussi, le flætz ou bohnerz lévigé est accompagné du gypse. Au puits Blancherie, par exemple, les grains de fer sont absolument encastrés dans des lamelles excessivement minces d'un beau gypse transparent.

Parfois aussi, dans les bohnerz, se trouvent des blocs de calcaires roulés, ou plutôt usés et polis. Au puits Blancherie, ces calcaires empâtent des pisolithes de fer. Je n'y ai pas trouvé de fossiles. Quiquerez mentionne le même fait.

En règle générale, les dépôts remaniés *in situ* sont intercalés dans les bols inférieurs des gisements sidérolithiques. Le remaniement s'est effectué sur place comme l'indique le nom donné aux dépôts : toutefois, il ne faudrait pas exclure

¹⁾ Voir Dr Louis ROLLIER : *II^e Supplément*, 1898, p. 75-96.

a priori, toute idée de transport mécanique ou chimique (charriage, dissolution). De plus, la répartition de ces dépôts est en relation étroite avec l'allure de la surface de leur substratum jurassique : presque tous correspondent à des excavations (poches, charbonnières de Quiquerez).

Pour ce motif, ces dépôts nettement remaniés (allure en amas, matériaux lévigués, altérés, etc...) peuvent être considérés comme des remplissages : ils résultent d'un remaniement très localisé, qui s'est effectué lentement, en profondeur et par lévigation surtout. Si le détail de leur formation nous échappe, nous pouvons cependant, par l'expérimentation, arriver à des résultats assez comparables, en opérant sur des bols et dès lors admettre les grands faits suivants :

1. Les eaux d'infiltration circulant en profondeur dans les bols dont les couches sont facilement parallèles à la surface de leur substratum calcaire, se sont ouvert des passages.

2. Par enlèvement progressif des particules légères, elles ont pu accumuler les parties plus lourdes (bohnerz, sables grossiers, galets...) non entraînées.

3. Par accumulation des particules entraînées, elles ont de même formé les couches sableuses diverses.

4. Enfin, dans ce travail complexe, lent, répété, les actions mécaniques ont été accompagnées des actions chimiques.

La question du mode de formation sera reprise plus en détail à la fin de ce travail ; pour l'instant, constatons seulement que le processus, dont je viens de dire un mot, se justifie par l'expérimentation et l'observation, en même temps qu'il explique parfaitement la position des dépôts remaniés *in situ* à la base des assises sidérolithiques. De même encore, il permet de comprendre pourquoi dans de nombreux dépôts les bohnerz sont remplacés par des sables et partant, il autorise le groupement des remplissages de sables ou de hupper et des dépôts remaniés. Ces remplissages ou poches à allure et à stratification régulières ne sont que les racines conservées, par leur position, des anciennes nappes sidérolithi-

ques aujourd'hui enlevées. C'est bien ainsi en effet, que je considère les poches de sable ou de hupper des vallées de Moutier, de Tavannes, des environs de Liestal, de Longeau etc... : ce sont des remplissages dus à un remaniement *in situ*, de matériaux occupant primitivement le bas de la formation sidérolithique et mis à jour par l'abrasion ou l'érosion ¹⁾.

Par la régularité et l'importance de leur stratification, la plupart de ces grands remplissages peuvent être rapprochés des dépôts réguliers dont le caractère fondamental est dans l'arrangement des couches (faciès siliceux, hupperfacies). Leur vraie place serait cependant plutôt ici.

2. Dépôts remaniés charriés.

Les dépôts de ce groupe sont très fréquents et encore plus variés que ceux du groupe précédent. Ils résultent également de remaniement ; mais presque toujours le remaniement semble avoir été accompagné du charriage et du transport des matériaux. Ceux-ci sont en effet, très mélangés et très hétérogènes : les bols ou les bohrerz ne forment plus qu'une partie de la roche qui est une gompholithe ou une brèche qui passe parfois au grès ferrugineux ou même à un calcaire.

La composition de ces roches est des plus variables : elle comprend essentiellement des galets roulés ou simplement corrodés et un ciment formé par une pâte riche en pisolithes de fer. En général, la gompholithe est une roche dure et résistante : les galets sont fortement liés les uns aux autres, parfois même, impressionnés, déformés, par le contact réciproque des éléments, tandis que la brèche est plutôt constituée par un mélange de bol et de galets ou de fragments calcaires. La gompholithe est très fréquente dans le Jura bernois

¹⁾ Consulter : L. ROLLIER : *II^e Supplément*, 1898, p. 101-113 et du même auteur : 1904 : *Beweis, dass die Natheim-Wettingerschichten auch auf der Basler Tafellandschaft ursprünglich vorhanden waren.*

et on l'observe souvent sur les bords des bassins sidérolithiques. Je l'ai indiquée précédemment dans les vallées de Delémont, de Vermes, de Soulce, etc... A Soulce, par exemple, elle est des plus intéressantes : d'une roche à gros galets jurassiques et à pisolithes altérées, on la voit passer lentement à un grès brun très ferrugineux ; on croirait observer les différents produits d'une sédimentation lente. La brèche, par contre, se rencontre surtout dans le Jura vaudois : on peut l'observer à la vieille carrière d'Eclépens (Vaud), où se voit encore un splendide dyke d'une brèche mécanique formée de bol rouge-brun et de fragments de calcaire urgonien très corrodés.

Je ne crois pas nécessaire de m'arrêter plus longtemps à cette question dont j'ai parlé déjà à plusieurs reprises. Les gompholithes et les brèches sont des produits du remaniement superficiel des matériaux sidérolithiques avec des roches d'autres formations. Elles ne sont sidérolithiques que par les böhnerz et les bols qu'elles renferment.

Les remplissages de ce groupe sont également très particuliers : comme les gompholithes et les brèches, ils sont formés par des matériaux très mélangés, simplement accumulés dans les excavations et dans les cavités du sol (fissures, crevasses). Les matériaux sont toujours plus ou moins altérés et portent des traces d'altérations mécaniques et chimiques de même que les parois des cavités qui les renferment. En général, il n'y a aucune stratification ; tout au plus y observe-t-on parfois, une sorte d'arrangement dû à la sédimentation des matériaux. Les plus connus de ces remplissages sont ceux des environs d'Yverdon (Mont de Chamblon, Mormont) dans le canton de Vaud et ceux du canton de Soleure (Egerkingen, etc...), où ils ont été tout particulièrement étudiés à cause des ossements de vertébrés qui y ont été trouvés. Dans le canton de Vaud, les crevasses sont creusées dans les couches crétaciques, tandis que dans le Jura soleurois, elles sont exclusivement localisées dans les calcaires jurassiques supérieurs.

D. Les gisements anormaux.

A plusieurs reprises déjà, il a été question de ces gisements anormaux, je ne saurais donc les passer sous silence. Toutefois, je tiens à faire observer de suite que cette étude n'appartient pas à ce travail : les gisements anormaux dont il s'agit ici se rapprochant bien plus du groupe *A. Produits de décalcification*, des Types sidérolithiques (v. p. 26) que du Sidérolithique proprement dit, objet de ces recherches.

Ces gisements anormaux sont des remplissages, des inclusions de marne de Hauterive (Néocomien inférieur) dans le Valangien inférieur. On les appelle encore plus justement « poches hauteriviennes » ou encore « poches de marnes néocomiennes » ¹⁾.

Le nombre de ces poches est limité : on n'en connaît guère qu'une quinzaine. Je vais les mentionner d'après MM. Schardt et Baumberger ²⁾ :

- | | |
|--|---|
| 1. Au Dépôt de Bois de Gléresse, entre Gléresse et la Baume : | 2 |
| 2. A la Baume, entre Bipschal (Gléresse) et Ligerz : | 1 |
| 3. Près de la route de la montagne de Diesse, au N. de Douanne : | 1 |
| 4. A la Cros, au dessous de Gaicht (vallon de la Cros): | 1 |
| 5. Au S.-E. de la maison de Kapf, au N. de Douanne : | 1 |

¹⁾ Pour fixer les idées, je crois utile de rappeler ici la stratigraphie des couches crétaciques de la région.

Alluvions — Eboulis — Dépôts lacustres — Glaciaire — Mollasse.

Hauterivien	{	sup. = calcaire jaune, roux.
	{	inf. = marnes de Hauterive (Néocomien inférieur de M. Rollier).

Valangien	{	sup. = calcaire roux et limoniteux.
	{	inf. = marbre bâtarde.

Purbeckien et Portlandien.

²⁾ H. SCHARDT et BAUMBERGER, *Eclogæ* : 159-201, V, 1897.

6. Au bord de la route de Bienne, entre Vuntele et Im Russel: 1
7. A la carrière de Im Russel: 3
8. Au bord de la route, entre Im Russel et le passage à niveau: 1
9. Au pied du Goldberg, entre Vigneule et Bienne, dans la tranchée du chemin de fer: 1
10. Au Pasquart, derrière la propriété Verdan, Bienne: 2
11. Au Fahys, près Neuchâtel: 1
12. Sur la montagne de Diesse: 1

Soit en tout, une douzaine de gisements comprenant 16 poches.

Toutes ont été décrites, très en détail, par MM. Schardt et Baumberger ou par M. Rollier; je ne vois donc aucune utilité d'en donner une nouvelle description, attendu que je n'ai aucun fait nouveau important à mentionner. Toutefois, une violente polémique ayant été soulevée pendant ces dernières années, entre MM. Schardt et Rollier, au sujet du mode de formation et de l'origine de ces poches, je suis obligé d'entrer dans le vif de la discussion, bien qu'il me répugne d'intervenir entre ces deux géologues, que je considère comme les maîtres de la géologie jurassienne.

Tout d'abord, dans le tableau A p. 156-157, je résume l'évolution des idées concernant cette question, par l'énumération des hypothèses qui ont été successivement soutenues.

La première hypothèse de M. Rollier (1888), ayant été abandonnée par son auteur lui-même, je ne m'y arrêterai pas, elle était d'ailleurs infirmée par plusieurs faits: la concordance des couches valangiennes et hauteriviennes, la présence du Valangien supérieur, dans la marne hauterivienne du remplissage, etc.

Pour des motifs analogues et d'autres encore, celle de M. Renevier est également à rejeter.

Quant à celle de M. Baumberger (1894), bien qu'elle ait été abandonnée par son auteur, elle me semble assez intéressante et digne d'être prise en considération. Je veux parler du processus surtout (le charriage par l'eau) et non des con-

clusions chronologiques qui en ont été tirées. Les arguments qu'on lui a opposés ne me paraissent pas très fondés : le charriage a pu être local, très restreint et la nature du remplissage loin de le contredire, l'affirmerait. Quant aux accidents tectoniques dont on a beaucoup parlé, ils trouveraient leur explication par le tassement dans les poches. Toutefois, je ne veux pas donner à cette hypothèse une signification trop générale, mais il me semble qu'elle mériterait d'être reprise.

L'hypothèse du Dr Greppin est également à rejeter : la marne hauterivienne forme de véritables enclaves, des inclusions complètes dans le Valangien et non des lambeaux recouverts. Il est intéressant de remarquer à ce sujet, le fait que cette hypothèse, point de départ de celles de MM. Schardt et Steinmann, actuellement défendues, se trouve absolument controuvée aujourd'hui.

Si ingénieuse et même si possible que soit l'hypothèse de M. Steinmann, qui évoque le refoulement glaciaire comme agent du remplissage, elle ne saurait cependant être soutenue. Il est bien difficile, je crois, d'admettre comme causes, des agents dont on ne retrouve pas de traces. Toutefois, je reconnais que c'est là un argument négatif.

La discussion porte donc essentiellement sur les deux hypothèses de MM. Rollier et Schardt et comme ces deux géologues ont évolué, modifiant leurs premières idées, elle porte sur leurs hypothèses telles qu'il les défendent actuellement, car je ne vois pas l'utilité de discuter des opinions qui ont été modifiées.

M. Schardt ¹⁾ vient de résumer sa théorie de la façon suivante :

« L'érosion ayant enlevé le pied des couches du Néocomien ou seulement percé jusqu'au Valangien la partie convexe des plis en genou, si fréquents sur le flanc du Jura, des paquets de terrain, ainsi suspendus en positions inclinées, ont glissé dans des excavations formées, soit par érosion, soit par écartement des bancs.

¹⁾ H. SCHARDT ; B. S. Neuchâteloise, XXXII. 1003-04, p. 85.

« Le glissement subséquent d'un banc de calcaire valangien, par dessus ces remplissages, a pu former couvercle ».

Dans le premier mouvement, les poches simples, découvertes, se sont formées, tandis que, par la combinaison des deux mouvements se sont produites les enclaves, les inclusions complètes, les poches fermées. M. Schardt appelle les premières « poches simples » et les secondes « poches à deux mouvements ¹⁾ ». De nombreux faits appuient ce mécanisme, MM. Schardt et Baumberger les ont résumés dans leurs mémoires de 1905 : ²⁾

1. Le contact des enclaves hauteriviennes avec le calcaire valangien inférieur est toujours franc, à surfaces polies, rappelant les miroirs de glissement.

2. Les blocs de calcaire du Valangien inférieur, portent également des traces de friction.

3. La marne hauterivienne est souvent feuilletée, presque schisteuse, comme si elle avait été fortement pressée.

4. La masse de la marne de plusieurs poches a ses propres *plans de glissement* à stries parallèles et des *plans de clivages*, s'entrecoupant sous un angle aigu, en sorte qu'elle se débite naturellement en fragments rhomboédriques plus ou moins réguliers.

5. Sur deux points, la marne de Hauterive paraît stratifiée, avec lambeaux de Valangien à la base et zones de nodules calcaires, marneux au sommet, appartenant vraisemblablement au Hauterivien inférieur, mais de la partie supérieure.

6. Assez souvent, les blocs valangiens sont accumulés en brèches que les auteurs considèrent comme des brèches de dislocation.

M. Rollier ³⁾ est d'avis très différent et pour lui, le mécanisme si ingénieux de M. Schardt ne saurait avoir cette importance ni cette signification. J'ai dit déjà qu'il s'était

¹⁾ Voir plus loin, Pl. II.

²⁾ H. SCHARDT et BAUMBERGER : B. S. Vaudoise, XXXI, p. 247.

³⁾ L. ROLLIER : II^e supplément 1898 : p. 63-72.

rallié à l'hypothèse soutenue dès 1869, par Gillieron, mais en la précisant et en la développant. Toutefois, il faut reconnaître que l'hypothèse actuellement défendue par M. Rollier n'est pas aussi précisée, aussi clairement exposée que celle de M. Schardt. Tout en rapprochant ces remplissages de marnes néocomiennes — comme il les appelle, considérant le Hauterivien de M. Renevier comme trop peu important pour être maintenu comme étage — des poches sidérolithiques, il ne semble pas les identifier avec ces dernières : il en fait « des intrusions sédimentaires anormales dans des vides préexistants par dissolution de la roche ambiante ». Comme arguments favorables à son hypothèse M. Rollier évoque la forme ovale ou arrondie des poches, les brèches qu'il attribue au charriage par l'eau, la corrosion, la distribution géographique, etc.

Il est intéressant d'observer ici ce fait étonnant, de deux géologues, partant des mêmes observations et aboutissant à des résultats absolument différents. La discussion est donc loin d'être close. Toutefois, bien que je ne sois nullement qualifié pour m'interposer entre mes deux savants confrères, je dois terminer ces considérations, par une conclusion et je me permets d'émettre mon opinion.

Tout d'abord, il me semble, que les deux hypothèses d'une origine mécanique ou d'une origine sidérolithique ne sont pas absolument, ni nécessairement contradictoires : au contraire, je crois plutôt qu'elles se complètent mutuellement. Sans doute, « il faut bien se garder de trop généraliser et de vouloir soutenir que tous les gisements anormaux doivent avoir la même origine et résulter du même mécanisme » et je suis parfaitement de l'avis de M. Schardt. Aussi, pour pouvoir rattacher ces remplissages hauteriviens au Sidérolithique, est-il nécessaire de faire intervenir les trois hypothèses de M. Schardt, de M. Rollier, et de M. Baumberger. Quoi qu'on en puisse penser, il me semble presque aussi impossible de séparer le processus mécanique, par glissement ou éboulement, de l'action des eaux dans la formation des remplissages sidérolithiques ou hauteriviens, que le travail mé-

canique et le travail chimique dans l'érosion générale. Il est bien évident que ce sont des processus spéciaux, particuliers, mais aucun fait n'autorise leur séparation. A mon avis, la divergence de vues de MM. Rollier et Schardt provient de là : l'un voudrait expliquer la formation des poches hauteriviennes par le seul jeu mécanique du glissement, l'autre prétend y arriver par le travail des eaux de corrosion ou de lévigation, agissant presque seul. Or, pour les gisements glissés ou éboulés, le travail mécanique comprend à la fois le glissement et l'action des eaux, ces dernières agissant avec des intensités très différentes.

J'admets donc en principe les deux hypothèses de MM. Rollier et Schardt, mais en les combinant. Celle de M. Baumberger ne doit pas être mise totalement à l'écart. Je ne serai pas contredit en soutenant que les preuves du glissement, comme celles du charriage ou de la corrosion sont manifestes dans les poches hauteriviennes. C'est par la combinaison rationnelle de ces trois hypothèses que les remplissages peuvent s'expliquer.

La formation des poches a dû s'effectuer en deux phases : dans la première phase, l'excavation s'est formée, dans la seconde, elle s'est remplie. Les phases ont pu être nettement distinctes, espacées, ou directement continues. Quant au mode de formation des excavations, il doit être assez analogue à celui qui a ouvert les poches sidérolithiques : tantôt la corrosion paraît avoir agi seule, tantôt elle a été guidée par les cassures tectoniques ou facilitée par la nature hétérogène de la roche.

Le remplissage s'est alors produit, soit par glissement en bloc comme le veut M. Schardt, soit par charriage comme le prétend M. Baumberger, soit par accumulation mécanique ou par lévigation comme le veut M. Rollier. S'il était démontré, que le glissement s'est effectué sans aucun travail des eaux, ces remplissages ne seraient pas rapprochables des poches sidérolithiques. Le charriage à lui seul n'aboutirait qu'à des brèches, ou à des conglomérats absolument étrangers

aux formations sidérolithiques ¹⁾. Ainsi donc, *a priori*, il est impossible de grouper tous ces gisements, qui sont des formations locales : il y a des distinctions à faire, car les mêmes causes ne produisent pas toujours les mêmes effets, pas plus dans l'espace que dans le temps, parce qu'elles agissent avec des intensités et dans des conditions variables, qu'elles se manifestent très différemment, tout au moins dans leurs actions de détail.

Pour ce motif, j'admets que certains remplissages dits anormaux, sont devenus sidérolithiques, parce qu'ils ont subi postérieurement l'action des phénomènes sidérolithiques. Mais il serait imprudent de vouloir généraliser cette conclusion et en tout cas, ces remplissages ne peuvent être rapportés qu'au premier type sidérolithique; il ne s'agit aucunement du Sidérolithique proprement dit.

¹⁾ A moins d'emprunter des matériaux sidérolithiques (bols, bohnerz, etc.) pour composer les remplissages.

« C'est encore par les fossiles, toute légère qu'est restée leur connaissance, que nous avons reconnu le peu que nous savons sur la nature des révolutions du globe .

[G. CUVIER, *Discours sur les Révolutions du globe*. p. 60, 1830].

« La noble Science de la Géologie laisse à désirer par suite de l'extrême pauvreté de ses archives .

[CH. DARWIN, *L'origine des espèces*. Traduction de Ed. Barbier, p. 573].

VI

PALÉONTOLOGIE

I. Faunes et flores sidérolithiques.

Pendant très longtemps, la formation sidérolithique fut considérée comme absolument dépourvue de restes fossiles. On la croyait d'ailleurs très homogène et c'est sans doute en partant de ces faits purement négatifs, mal établis et mal interprétés et aussi, sous l'influence des idées alors régnantes, que Brongniart et Gressly imaginèrent leurs théories par voie hydrothermale ou semi-plutonique d'une origine interne des matériaux sidérolithiques ¹⁾.

¹⁾ Gressly en particulier, non content d'envisager les dépôts sidérolithiques comme *azoïques*, prétendait encore que leurs matériaux jouissent de propriétés délétères. C'est à ces propriétés délétères, par exemple, qu'il attribuait la mort du poisson des rivières dans lesquelles se déversent les eaux des lavoirs des minerais. Mais il n'est pas difficile de détruire cette opinion. Les gaz délétères! de Gressly n'existent pas. L'analyse chimique ne les a jamais décelés et par ailleurs, l'exploitation des mines de bohnerz n'a jamais rencontré de pareilles formations gazeuses. Les gaz qui s'accumulent dans les vieilles galeries n'ont rien de comparable. Enfin, d'après des observations que j'ai faites moi-même, l'eau des lavoirs est chargée d'une poussière très ténue, formée de petites aiguilles siliceuses très acérées, facilement visibles au microscope sur le

Et cependant, Al. Brongniart déjà, rapprochait les *Minerais pisiformes* des *Brèches osseuses* de la Provence et A. Gressly avait observé avec Hugi, près de Soleure, des ossements que Cuvier et Duvernoy rapportaient au *Palaeotherium crassum* Cuv. et provenant d'argiles très spéciales, considérées aujourd'hui comme sidérolithiques. Il est vrai que le premier attribuait la formation des Brèches osseuses à une cause toute accidentelle, qu'il l'expliquait même par sa théorie et qu'il n'avait pas rencontré d'ossements dans les fers en grains proprement dits; que le second, influencé déjà par les idées dominantes alors, qu'il était à la veille de publier dans sa fameuse théorie, ne pouvait facilement admettre comme sidérolithiques des *argiles ossifères*, lui qui les attribuait à un phénomène semi-éruptif. D'ailleurs, avec Hugi, Gressly considérait ces ossements comme du même âge que les *Tortues*, les *Pycnodus*..., du Jurassique supérieur, précisément rencontrés dans la même région.

A peu près à la même époque, E. Thirria était également victime d'une confusion, mais d'une confusion absolument différente. Tandis que les géologues soleurois n'arrivaient pas à reconnaître un dépôt par ses fossiles propres, le géologue de la Haute-Saône prétendait caractériser un autre dépôt par des fossiles étrangers. Thirria¹⁾ avait recueilli dans un même gisement de minerai de fer en grains, un certain nombre de fossiles, déjà connus dans d'autres niveaux compris entre le Jurassique supérieur et le Trias. Il s'agissait manifestement d'un remaniement et ce n'est qu'après coup qu'il s'en aperçut. C'est à cette confusion sans doute, qu'il faut attribuer cette erreur de sa classification — qu'il recti-

filtre et que l'on retrouve dans les canaux respiratoires des poissons, implantés dans les épithélium. Un fait analogue avait été signalé déjà pour les ouvriers travaillant le silex, dont les poumons étaient perforés par ces aiguilles avalées avec l'air des ateliers. En outre, la truite (*Trutta fario*) aime beaucoup l'eau claire et elle périt aussi facilement dans une eau trouble que dans une eau qui n'est pas fraîche.

¹⁾ E. THIRRIA : *Statistique minéralogique et géologique de la Haute-Saône*, p. 116-133, Besançon, 1833.

fia d'ailleurs plus tard — et qui lui fit placer le fer pisiforme dans le Jurassique supérieur ¹⁾.

La découverte de Hugli, dans la vieille carrière de Ste-Vèrène, près de Soleure, remonte pour le moins à 1832, puisque Cuvier, mort cette année-là, eut encore entre les mains la plupart des pièces recueillies par le géologue de Soleure.

C'est vraisemblablement la découverte la plus ancienne. Toutefois, elle n'eut aucune influence sur les idées alors dominantes, car il importe de ne pas oublier que la paléontologie venait à peine d'être créée par Cuvier et ce n'est d'ailleurs que bien plus tard que les matériaux sidérolithiques ont fourni à Rüttimeyer et à H. von Meyer des documents importants.

Commencées en 1830, les découvertes d'ossements se continuèrent et furent surtout fructueuses de 1840 à 1860. C'est l'époque des fouilles faites surtout par Cartier, à Obergösgen et à Egerkingen (canton de Soleure) et par Ph. de la Harpe et Gaudin dans la région d'Yverdon (canton de Vaud).

Pour ne pas donner à cette étude paléontologique un développement trop considérable et aussi pour éviter les redites inutiles, j'ai résumé, dans le tableau **B**, les principales étapes de ces découvertes, indiquant dans chaque cas, la date, la situation et la valeur. On remarquera que les seules déterminations spécifiques mentionnées sont celles du Dr H. G. Stehlin, mais qu'à côté, figurent quelques indications générales fournies par les anciens auteurs. J'ai cru pouvoir agir ainsi parce que M. Stehlin vient de publier une revision de la faune éocène et que, dans bien des cas, les anciennes dénominations n'ont pas été maintenues. Je ne puis donc que renvoyer pour plus de détails aux excellents travaux du savant paléontologiste bâlois.

²⁾ Thirria donnait la liste suivante des fossiles qu'il avait recueillis :

Ammonites binus Sow.

Ammonites planicosta Sow.

Ammonites coronatus Sow.

Nerinea suprajurensis Voltz.

Terebratula coarctata Sow.

Terebratulites helveticus, variabilis
Schl.

Ainsi résumés et groupés, tous ces faits, se présentent mieux dans leur ensemble. Tout d'abord, reconnaissons que l'état actuel de nos connaissances paléontologiques, permet de leur donner une interprétation précise et une signification chronologique déterminée. Sans doute, tous les rapports phylogéniques ou tous les détails concernant la distribution des espèces ne sont pas totalement éclaircis ; toutefois, si la première partie de l'observation de M. de Lapparent concernant la distribution verticale du genre *Palaeotherium* ¹⁾, paraît infirmée, je ne voudrais pas pour autant récuser la seconde, car, l'expérience — et toutes les revisions en font foi — n'a que trop démontré la délicatesse des études de ce genre. Tel qu'il se pose aujourd'hui, le problème garde nécessairement quelque chose d'incertain, qui lui donne une apparence d'hypothèse. Il est vrai, que nous n'avons pas à nous en préoccuper. Et en outre, déjà extraordinairement complexe en lui-même, il s'embrouille encore par le fait de l'introduction de données nouvelles, apportées par les paléontologistes américains. Et ainsi, tout en appréciant à leur juste valeur, les développements énormes de la paléontologie mammalienne, on a le droit de se montrer sceptique cependant à l'encontre de quelques-unes de ses prétentions et tout en affirmant avec Darwin la pauvreté des matériaux, on peut aussi partager l'optimisme de M. Gaudry ²⁾.

Dans nos recherches, les liaisons phylogéniques des espèces sont de la plus grande importance. Nous allons donc les examiner d'abord, puis nous rechercherons les grandes lignes de la distribution chronologique des principales, de manière à pouvoir caractériser par des distinctions spécifiques, les différents niveaux qui constituent l'ensemble du Sidérolithien.

¹⁾ A. DE LAPPARENT : « ... en présence des incertitudes qui règnent encore sur la distribution verticale du genre *Palaeotherium*, il est prudent de ne présenter ces conclusions qu'avec une grande réserve... ». *Traité de Géologie*, 1900, p. 1469.

²⁾ A. GAUDRY : *Discours de présidence à la séance annuelle de l'Académie des Sciences*, p. 21, XII. 1903.

(E. 40^{mm})

3. Ecépéens
près de la gare, dans la
carrière

[Carte Siegf. 301 { N. 90^{mm}
E. 15^{mm}]

Campiche

G.-H. Stehlin

{ Palaeoth. Buseri Stehl.
Palaeoth. Renevieri Stehl.
Palaeoth. Heini Stehl.
Plagiolophus minor Cuv.

Les bols sont colorés en vert
par la pyrite. Les remplissages
sont souvent formés de calcaire
altéré et de pyrite. Parfois, ils
sont imprégnés de bitume.

G.-H. Stehlin

{ Palaeoth. magnum Cuv.
? Plagiolophus cf. annectens
Owen.
? Anchilophus rudegondensis
Gerv.

4. Bavois

De la Harpe
Gaudin

[Carte Siegf. 304 { N. 47^{mm}
W. 2^{mm}]

G.-H. Stehlin

{ Palaeoth. magnum et var.
Girondicum

5. Les Alleveys
près St-Loup

S. Chavannes
A. Morlot

[Carte Siegf. 301 { N. 55^{mm}
W. 160^{mm}]

6. Sommet du Mormont

De la Harpe

Voir plus loin (1901)

Localités Situation des gisements	Géologues qui s'en sont occupés	Paléontologistes	Observations paléontologiques	Observations géologiques	Bibliographies
Hungerberg près d'Aarau L'indication paraît fautive : ce serait plutôt Biffang au pied du Hungerberg	Indiqué par C. Mosch		Finys Fleischer H. v. M. Wittenbachi Bourli. ? dents et ossements de Palaeotherium ?... ?... On ne connaît aucune espèce.	Dans les Freissbergschichten d'après Mosch. (Oxfordien) Biffang est une station de l'Oli- goène sup. (Mol. à'eau douce inf.)	C. Mosch Mühlberg H.-G. Stehlin [XXX p. 9]
1845 Stelli (près Olten) [Carte Siegf. 111 et 162]	Indiqué par Rütimeyer		On ne connaît aucune espèce déterminée.	(Crevasse dans le Jurassique Sup.	L. Rütimeyer C. Mosch H.-G. Stehlin [XXX p. 9]
1852 Groupe du Mormont : 1. La Sarraz	P. de la Harpe C. Gaudin S. Chavaunes A. Morlot Dr Campiche E. Renevier F.-A. Forel Golliez. Ehinger Rittener, H. Heer v. Huene	F.-J. Pictet A. Humbert Kowalewsky Forsith Mayor L. Rütimeyer		Les crevasses sont en général dans le calcaire urgonien. Plusieurs ont été détruites par l'exploitation des carrières	Ph. de la Harpe

Le. mag. 601 } 71mm N.

Éclépens

(C. Sieg. 301) { 48mm E.
120mm N.

H.-G. Stehlin

H.-G. Stehlin

●
●
●
●
●
●
●

Chasmothrium Cartieri Rütim.

Lophiodon lauricense Nouvel

Palaeoth. Castrense Noulet.

Palaeoth. Curtium Cuv., var.

Palaeoth. lauricense Noulet

Plagiolophus Cfr. *minor* Cuv.

Anchilophus Cfr. *Demaresti* (Ierv.,

Lophiotherium Cfr. *cervulum* Gerv

Pachinolophus Cfr. Duvali Pomet.

•
•
•
•
•
•
•

Palaeoth. Sp...?

Palaeoth. Curtum Cuv. var.

Plagiolophus annectens Owen.

Plagiolophus Cfr. Minor, Cuv.

Lophiotherium cervulum Ger.

Anchilophus Dumasi Gerv.

Anchilophus Gaudini Pict. Humb.

Palaeoth. maximum Cuv. et var.

Palazzo. Buseri Stahl

Palaeoth. Brevieri Stehl

Heimi Stahl

Phaeolophus minor Cur.

Agriophorus minor Cuv.,

Amphibolus odoratus Cress.

Uetv. sisuanniganat eundem

Uragale d'onguent?

atives de rongeurs?

laire de *Xiphodontherium*?

Poches
dans le Kinneridien.

H.-G. Stehlin

F. Fleury
1905

1904

Verrerie de Roche

Au bord de la route de Bellevue

E. Fleury

H. G. Stollin

Astragale d'onguienté?

Incisives de rongeurs?

Molaire de Xiphodontherium?

Poehs

dans le Kimmeridien.

F. Fleury
1905

Localités Situation des gisements	Géologues qui s'en sont occupés	Paléontologistes	Observations paléontologistes	Bibliographie
1860 Moutier C. Siegf. 107 S : 64 ^{mm} W : 63 ^{mm} pr. de la c. 800	D ^r Greppin Matthey Pagnat	L. Rütimyer	Reptiles, serpents, lucert., crocodiles 3 esp. de Palaeotherium Canotherium, Hypotaenius Dichoron Viverra..... Palaeoth. laticrurica Moncl ? Palaeoth. Curium Cuv. ? Plagiolophus Cfr. Minor. Cuv. Palaeoth. Cfr. Girondicum Gerv. ? Palaeoth. Spec..... Palaeoth. Curium Cuv. var. Palaeother. Annectens Owen. Anchilophus Gaudini Pict. H. ? Palaeoth. Curium Cuv. ? Plagiolophus Cfr. Annectens Owen.	D^r J.-B. Greppin 1870 L. Rütimyer Rollier
1883 Chambion sur l'Yverdon (Vaud)	H. Scharlt H. G. Stehlin		Lophiodon rhinoceros Rüt. ? Lophiodon issellense, auct. ? Lophiodon Cuvieri Walt. Palaeoth. eocaenum Ger. Palaeoth. Rütimyeri Stehl. Plagiolophus Cartieri Stehl. Propalaeoth. Cfr. argenticum Gerv. Propalaeoth. issellanum et var. Gerv. Propalaeoth. parvulum Laur. var. Lophiotherium pygmaeum Dep. Voir 1852. Groupe du Mormont.	H. Scharlt H.-G. Stehlin p. 598. 1906
1901	Michard Gagy		? Chasmotherium Cartieri Rütim. Lophiodon tapiroides Cuv. ? Palaeoth. Cfr. Costaricae Xant.	

thique. Mais alors, le cadre des recherches se trouve considérablement agrandi, puisque, pour connaître les liaisons philogéniques des espèces qui servent de critérium, il importe essentiellement de suivre leur évolution complète, non seulement dans les dépôts sidérolithiques, mais encore dans la série plus complète des assises régulières. Nous avons donc à nous occuper d'espèces inconnues dans les dépôts sidérolithiques, mais qui dans d'autres assises, représentent des formes parentes, voisines ou intermédiaires.

Les espèces mammaliennes sidérolithiques suisses appartiennent presque exclusivement aux genres suivants ; *Chasmodontherium*, *Lophiodon*, *Palaeotherium*, *Plagiolophus*, *Propalaeotherium*, *Lophiotherium*, *Anchylophus* et *Pachynolophus*. Nous pouvons faire abstraction des autres genres, moins importants pour nous.

Dans son grand travail sur les *Mammifères de l'Eocène suisse* (p. 555), M. Stehlin, dans un tableau très complet des filiations de ces genres, donne également leur équivalence avec certaines formes américaines. Je crois utile de le reproduire dans son entier, p. 163.

Remarquons de suite le parallélisme frappant des formes européennes et nord-américaines. Pour l'instant, nos classifications et notre terminologie prévalent encore ; il est cependant fort possible que sans tarder bien longtemps, celles de nos confrères américains, favorisées par des découvertes toujours plus fructueuses, arrivent à les supplanter. Il importe donc, dès à présent, de relier déjà et de rapprocher, dans la mesure du possible, les principales formes de ces deux grands centres et c'est pour ce motif que j'ai cru devoir maintenir intégralement le tableau de M. le Dr Stehlin.

Pour ce qui concerne la répartition chronologique des genres, constatons qu'à l'exception des *Palaeotherium* et des *Plagiolophus*, les mammifères sidérolithiques suisses sont exclusivement éocènes. C'est là une première loi générale, qui ne souffre aucune exception importante, tout au moins pour les principaux genres.

En second lieu, l'évolution verticale d'un genre, comprend toujours, dans les cas étudiés du moins, un minimum de deux niveaux stratigraphiques : on n'en connaît aucun qui se soit strictement limité à un seul et même niveau. *Par suite, il n'existe aucun genre mammalien capable de fixer à lui seul l'âge précis d'un niveau éocène.*

C'est donc aux espèces que le stratigraphe doit avoir recours, ayant soin de faire un bon choix. Les discussions soulevées un peu partout, ces derniers temps, montrent d'une façon malheureusement trop fappante, que trop souvent ce choix des espèces caractéristiques n'était pas suffisamment motivé.

	EUROPE			AMÉRIQUE DU NORD	
Oligocène inférieur	Palaeo-therium	Plagio- lophus		Meshippus	Oligocène inférieur
Ludien	Auchi- lophus	Palaeo- therium	Plagio- lophus	Epibippus	Uinta
Bartonien	Auchi- lophus	Palaeo- therium	Plagio- lophus	Propalaeo- therium	Orobippus
Lutétien	Auchi- lophus	Palaeo- therium	Plagio- lophus	Propalaeo- therium	Eolippus
Yprésien				Propachyno- lophus ?	Protobippus
				Hyracotherium	Eolippus
					Eolippus
					Wasatch
	EUROPE			AMÉRIQUE DU NORD	

Enfin, dans le tableau C ¹⁾ j'ai réuni et groupé les principales observations indiquées par M. Stehlin sur l'évolution d'un certain nombre d'espèces, qui peuvent assez souvent fournir des indications précieuses sur l'âge exact d'un gisement donné. Mais nécessairement alors, j'ai dû sortir du Sidérolithique suisse, pour trouver des gisements bien étudiés et pouvant servir de points de repère.

Ce dernier tableau établit très nettement :

1° Que dans quelques cas assez rares, certaines espèces sont restées strictement cantonnées dans un seul et même niveau.

2° Mais que le plus souvent, comme pour les genres, ainsi que nous l'avons vu plus haut, les espèces elles-mêmes se sont conservées successivement dans plusieurs niveaux.

Par suite, dans le premier cas, la caractérisation stratigraphique des gisements peut s'appuyer sur des *espèces nettement caractéristiques*, tandis que dans le second cas, elle est forcée d'utiliser la *coexistence d'espèces différentes*.

Ainsi, le *Palaeotherium magnum* et le *Lophiodon lantricense* caractérisent respectivement le Ludien supérieur et le Barthonien ; tandis que le *Palaeotherium curtum* (Barthonien ou Ludien) et le *Chasmothorium Cartieri* (Barthonien ou Lutetien sup.) fixent par leur coexistence le Barthonien, puisque cet étage marque, à la fois, le commencement de l'un et la fin de l'autre.

Par suite, la stratigraphie sidérolithique trouve dans les matériaux paléontologiques un criterium de caractérisation et c'est ce criterium qui doit être utilisé pour l'étude des gisements sidérolithiques suisses.

¹⁾ Voir à la fin du volume.

Ainsi envisagée, la paléontologie sidérolithique devient plus claire et surtout, peut fournir des indications plus rigoureuses. Les gisements fossilifères sont d'ailleurs rapprochés des niveaux bien connus dans la série tertiaire et par suite, leur caractérisation s'appuie sur des espèces dont l'ère de répartition est bien établie. Sans doute, il convient de faire cependant encore certaines réserves en faveur des surprises que peuvent nous ménager les découvertes futures, mais la Science ne peut s'appuyer que sur les résultats acquis et par ailleurs, la seule prétention de cette étude est de fournir une synthèse de l'état actuel de nos connaissances sur cette importante question.

A dessein, il n'a pas été tenu compte ici de toutes les espèces reconnues et signalées par les paléontologistes qui se sont occupés les premiers de l'étude des ossements sidérolithiques, soit que certaines déterminations restent encore sujettes à discussion, soit plutôt que les résultats fournis par M. le Dr Stehlin qui a révisé les travaux de ses devanciers, particulièrement ceux de Rütimeyer, puissent à eux seuls suffire. Toutefois, pour être complet, je vais réunir en terminant les principales conclusions des travaux publiés jusqu'ici sur ces questions.

Dans leur ensemble, les faunes sidérolithiques suisses comprennent plus de 150 espèces. M. Stehlin a publié jusqu'ici, la revision des genres suivants :

Chasmothorium, *Lophiodon*, *Palaeotherium*, *Plagiolophus*, *Propalaeotherium*, *Anchilophus*, *Pachynolophus*, *Dichobune*, *Mouillacitherium*, *Meniscodon*, *Oxacron*.

Rütimeyer mentionne dans ses listes un certain nombre de reptiles (*Testudo*, *Emis*, *Python*, *Lacerta*, *Crocodylus*, *Placosaurus*, *Cinixys*, etc...), des insectivores (*Vespertilio*...), et quelques carnivores.

Enfin, il indique à Egerkingen, le fameux *Caenopi-*

thecus lemuroïdes Rt., prosimien voisin des Lémurs et des Hapalémurs. Par ailleurs, le Musée de Bâle possède encore un certain nombre d'ossements dont la détermination est à faire et c'est pour ce motif surtout, qu'il est difficile de donner une liste complète des vertébrés sidérolithiques.

En général, les ossements sidérolithiques sont accumulés dans des fentes ou des bas-fonds remplis de bolus. A Egerkingen, ils sont le plus souvent dans des crevasses; dans les environs d'Yverdon, ce sont également des poches ou des crevasses du substratum qui les contiennent surtout.

Cependant, la faune sidérolithique ne se réduit pas seulement à des vertébrés, il y a également quelques invertébrés et aussi quelques espèces végétales; mais, en règle générale les invertébrés et les plantes ne se rencontrent pas dans les bolus, mais plutôt dans les formations calcaires ou nettement siliceuses.

II. Faunes et flores des formations calcaires et siliceuses.

Les formations calcaires qui accompagnent parfois les bols et le bohnertz, tantôt les recouvrant, tantôt s'y intercalant ne sauraient cependant constituer un niveau stratigraphique unique et constant. Leur composition pétrographique ou même chimique, leur position, sont des plus variables et il est absolument impossible de tenter leur rapprochement synchronique ou même parfois de justifier leur groupement avec le Sidérolithique. En règle générale, ces formations sont très localisées et il ne semble pas que l'abrasion ou l'érosion aient beaucoup modifié leur répartition primitive.

a. Les Conglomérats.

Ils résultent de remaniements mécaniques des matériaux sidérolithiques avec des roches souvent mélangées et plus ou moins altérées, empruntées à d'autres formations. Dans le Jura oriental, les conglomérats sont formés surtout

de galets calcaires jurassiques et de grains de fer sidérolithique. Les bols bien conservés n'y apparaissent que très exceptionnellement. Toutefois, ils ont dû fournir des matériaux au ciment du conglomérat.

Dans le Jura vaudois, le conglomérat passe à la brèche et consiste essentiellement en une accumulation de fragments corrodés des roches crétaciques qui forment le substratum sidérolithique, réunis par un bol rouge bien conservé. On peut en voir de beaux exemples dans les régions du Mont de Chamblon, du Mormont surtout et aussi aux Dents du Midi.

Il n'en est plus ainsi, par contre, dans le Jura oriental (Berne, Soleure), où les bols, en général très rares dans les conglomérats sont beaucoup plus hétérogènes. Les galets roulés sont empruntés aux différentes roches du Jurassique et surtout aux assises supérieures. Le ciment varie, mais ordinairement, il est très compact et très solide. Dans quelques cas, par exemple, au N.-W. de Soulce (Jura bernois), le conglomérat semble résulter d'un remaniement du Sidérolithique et du Jurassique supérieur dans des sables mollassiques tertiaires et comme je l'ai dit plus haut, on le voit passer progressivement au grès.

Il est toujours bien difficile de fixer l'âge des conglomérats et des brèches, comme aussi celui des calcaires qui y sont parfois intercalés. Les fossiles y sont très rares et presque toujours mélangés : tous ceux qui y ont été trouvés jusqu'ici étaient connus déjà dans une autre formation géologique et leur présence peut s'expliquer par le remaniement.

La position stratigraphique, la composition pétrographique des roches peuvent parfois être plus utiles : mais je ne crois pas qu'il soit possible cependant d'en tirer des conclusions générales. La présence des matériaux sidérolithiques dans ces roches permet seulement de les considérer comme une formation plus récente. Et encore, faut-il faire une restriction pour les conglomérats ou les brèches que l'on peut considérer comme une forme ébauchée, incomplète, du Sidérolithique régulier et achevé ? Les matériaux tertiaires qui

entrent parfois dans la constitution de certains conglomérats permettent de fixer le moment, à partir duquel, ils ont pu se former, mais non pas toujours d'établir nettement à quel moment, ils se sont formés.

Par ailleurs, des remaniements capables de constituer de semblables conglomérats ont dû se produire à plusieurs reprises et pour des causes bien différentes. C'est pour ce motif surtout qu'il me répugne de leur assigner un âge. Tout au plus, je reconnais que le soulèvement du Jura et l'abrasion qui l'a suivi ont pu jouer un rôle particulièrement puissant.

b. *Les Raitsches.*

Les raitsches ou calcaires d'eau douce sont aujourd'hui assez bien connues : leurs faunes et leurs flores ont été assez bien étudiées ces dernières années. Mais ici encore, comme pour les bols, comme pour les conglomérats, il y a plusieurs niveaux stratigraphiques : les raitsches sont une formation locale et sporadique, indépendante des phénomènes sidérolithiques. Elles se sont formées sous l'influence de conditions particulières et elles n'ont d'intérêt pour ces études, qu'à cause de leur contact avec les assises sidérolithiques. Cependant, dans l'état actuel de nos connaissances, il ne semble pas que leur étude ait fourni des renseignements très précieux, nous connaissons encore trop mal la véritable signification stratigraphique des espèces d'eau douce et pour ma part, je crois qu'il faut être très prudent dans l'appréciation de ces *supposées espèces caractéristiques*.

D'après leurs faunes respectives, les raitsches peuvent se grouper ainsi :

1. Celles à *Planorbis pseudo-ammonius* Schl. (Aesch, Hochwald, Lausen, Oberdorf...).
2. Celles à *Limnea longiscata*. Brgn.

Les espèces importantes des premières sont les suivantes d'après M. Gutzwiller :

	Aesch	Hochwald	Lausen	Oberdorf
1. Calyculina dubia Gutzwiller			+	
2. Clausilia densicostulata Sandb.		+	+	
3. Craspedopoma Stehlini Gutzwiller		+		
4. Euchilus Deschiensianum Desh.	+			
5. <i>Glaudina Cordieri</i> Desh.	+	+	+	
6. Helix laxicostulata Sandb.	+		+	
7. <i>Nanina occlusa</i> F. Edw.	+	+	+	
8. Nanina Voltzi Desh.	+		+	
9. Paludina (Vivipara) novigientiensis Desh.	+			
10. Patula oligogyra Andrae,		+	+	
11. <i>Planorbis Chertieri</i> Desh	+	+	+	
12. <i>Planorbis pseudo-ammonius</i> Schl.	+	+	+	+ ¹⁾
13. Pomatias Hochwaldensis Gutzwiller		+		
14. Pomatias Sandbergeri Moulet			+	
15. Pupa multicostulata Gutzwiller			+	

La raitsche à *Limnées* est moins riche.

A Delémont, le niveau fossilifère a fourni :²⁾

Limnea longiscata Brgt.

Melanopsis ?

Cyclas ?

Planorbis rotundatus Brgt. (*Pl. goniobasis* Sandb).

Crocodilus Hastingsiae Owen.

Limnea longiscata existe également à Moutier, à la Charrue (avec *Pl. rotundatus*, empreintes de *Phragmites* ?³⁾) au Lac Ter, aux Diablerets, etc...

Mais à Delémont, les raitsches forment trois niveaux distincts et superposés, dont un seul est fossilifère. A Moutier, il y a probablement aussi plusieurs niveaux, au moins deux, l'un à *Limnea longiscata* (à la Charrue) l'autre à *Planor-*

¹⁾ Signalé par le prof. Lang.

²⁾ Dr GREPPIN : *Matériaux*, p. 159, 1870.

³⁾ Dr L. ROLLIER : *II^e Supplément*, p. 110. 1898.

bis Choffati et à *Charydrobia transitoria* Stache, (à la Verrerie). Or, il est bien évident que ces niveaux ne sont pas synchroniques ¹⁾.

La question est d'ailleurs compliquée. La faune d'Oberdorf malgré la présence du *Planorbis pseudo-ammonius* signalée par Lang, se rapproche cependant de celle de la Verrerie de Moutier ²⁾, par *Charydrobia transitoria* et de celle de Monte-Bolca par ses *Smerdis*.

Les flores sont très mal représentées. A Lausen (près Liestal), M. Gutzwiller a signalé *Grewia macrocarpia* et *Chara Petrolli* Andreæ ³⁾, à Oberdorf. A Delémont, on connaît depuis Greppin et Heer : *Chara helicteres* Brgt., *Chara siderolithica* Greppin et *Chara Greppini* Heer. L'espèce *Chara helicteres* est assez répandue : on l'a signalée au Lac Ter, aux Diablerets, etc...

Je ne mentionne pas ici les espèces animales ou végétales moins caractéristiques et qui n'ont qu'un intérêt secondaire, telles que les *Bythinia* et les *Hydrobia*, mais seulement celles qui peuvent être utilisées avec certitude. Et même dans ce cas, il est excessivement difficile d'établir le parallélisme de ces formations calcaires. Tout ce que nous savons de ces formations peut se ramener à ceci :

A. Les calcaires à *Planorbis pseudo-ammonius* se parallélisent assez bien avec celui de Bouchxwiller (Alsace) et peuvent être rapportés à l'Eocène moyen (Lutétien).

B. Ceux à *Limnea longiscata* rappellent les calcaires de Montbeliard et de Brunnstadt et prennent place vers la partie inférieure de l'Oligocène inférieur (Ligurien).

¹⁾ Consulter l'excellente étude de M. le prof. SCHMIDT : *Ueber tertiäre Süßwasserkalke*, S. 609-622. 1904-

²⁾ Les Planorbes recueillis à Oberdorf sont voisins de *Segmentina Chertieri* Desh. et les Limnées se rapprochent de *Limneus marginatus* Sandb.

³⁾ Pour être complet, je citerai encore : *Calyculina dubia* Gutzw. et deux dents de Vertébrés (*Lophiodon*, *Palaeotherium*). Consulter l'excellente et splendide étude de M. GUTZWILLER : *Eocänen Süßwasserkalke*.

Nous pouvons donc admettre comme lutétiens, les calcaires de Lausen, de Aesch, de Hochwald (plateau bâlois) et comme liguriens, ceux de Moutier, de Delémont?, d'Oberdorf ? ¹⁾).

Le calcaire des Diablerets se rattache plutôt à l'Eocène supérieur (Bartonien).

c. Les sables siliceux.

Ainsi que je l'ai fait observer précédemment, les sables siliceux sont ordinairement accumulés dans des excavations parfois immenses, creusées dans les calcaires compacts du Jurassique. Jusqu'à présent on n'y a jamais rencontré que peu de fossiles et je ne connais aucune espèce animale ou végétale qui leur soit propre : toutes celles qui y ont été trouvées étaient déjà connues dans d'autres formations géologiques et particulièrement dans celles qui forment le substratum des poches.

A Longeau par exemple, les poches sont creusées dans le Portlandien et les seules fossiles qui y aient été trouvés jusqu'ici sont :

Rhynchonella multiformis Roem.

Pygurus Montmollini Ag,

Lima Tombeckiana d'Orb.

Les remplissages siliceux de l'Ajoie (Porrentruy) fournissent de même des espèces portlandiennes et virguliennes : ceux du val de Laufen contiennent des espèces rauraciennes.

Dans le canton de Neuchâtel, on peut recueillir assez souvent des espèces albiennes au néocomiennes. Je possède des échantillons de ce genre venant du Mont de Chamblon et j'ai vu M. le prof. Schardt découvrir *Dentalium Rhodani* P. et R. dans des remplissages à nodules phosphatés, à St-Blaise. M. Rollier indique de même, une vingtaine d'espèces trouvées dans une crevasse du Goldberg, près Bienne.

¹⁾ Le parallélisme des calcaires de Delémont et d'Oberdorf est douteux, mais assez vraisemblable cependant. D'ailleurs, on ne saurait être trop prudent dans l'acceptation de ces quelques conclusions.

Cependant, *Planorbis pseudo-ammonius* a été trouvé dans le hupper à Lausen et M. Stehlin m'a dit l'avoir récolté à Aesch. Il n'en resterait pas moins vrai, qu'en règle générale les fossiles du hupper peuvent être considérés comme provenant de la décomposition des roches jurassiques ou crétaciques, du moins en règle générale.

Ces études paléontologiques permettent de tirer quelques conclusions qui me paraissent intéressantes.

Tout d'abord, il ressort nettement, qu'il n'y a eu en Suisse, ni un âge, ni une faune sidérolithiques, mais bien une période caractérisée par une série de faunes et qui s'est étendue du Lutétien inférieur ? au Ludien supérieur ou peut-être même au Sannoisien inférieur ¹⁾.

III. GRAPHIQUE

MONTRANT LA SUCCESSION CHRONOLOGIQUE ET GÉOGRAPHIQUE
DES FAUNES SIDÉROLITHIQUES.

Localités	Jurassien sup. Sannoisien inf.	Sannoisien moyen	Sannoisien sup.	Bartonié	Lutétien inf.	Lutétien sup.	Lutétien inf.	Sannoisien sup.	Sannoisien inf.	Sannoisien	Sannoisien...
1. Eggeningen.	?	X	XXX	?							
a) Vieille carrière	?	X	XXX	?							
b) Hemplustagaa B.			XXX	?							
2. Moosmatt			X	XX	XX	XXX					
a) Schöpsen-gare			X	XX	XX	X					
b) St. Loup-Altevoys				X	X						
c) Bärenroth-Bavens						XXX					
3. Chamblon			XXX								
4. Moutier				X	XX	?					
5. Obergösgen						XXX					
6. Sainte-Véronne						X					
7. Vallée de Delémont				?	?	?	?				
Frohnstetten							XXX				
Eselsberg								XXX			
Quercy				X	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	

¹⁾ Voir à la fin du volume: Tableau D.

En second lieu, les phénomènes sidérolithiques se sont produits en Suisse en même temps que ceux, qui en France ont donné naissance aux Phosphorites du Quercy. Toutefois, le synchronisme n'est pas absolu. Les dépôts sidérolithiques suisses sont également plus jeunes que ceux de l'Allemagne du Sud, Frohnstetten, Eselsberg, ainsi que le montre le petit graphique que j'emprunte encore à M. le Dr Stehlin.

Enfin, la variation des faunes est un argument en faveur de la variation des conditions climatologiques : toutefois la répartition de ces faunes apparaît aujourd'hui comme assez étroitement liée à la nature pétrographique des matériaux sidérolithiques :

A. Les Vertébrés abondent dans les bols.

B. Les Invertébrés sont particulièrement groupés dans les dépôts calcaires ou siliceux.

« La Science vit de faits, mais ce sont toujours les grandes généralisations qui les font naître. Une théorie fondamentale ne peut être modifiée sans que l'orientation des recherches scientifiques change aussitôt. »

Dr G. LE BON : *L'évolution de la matière*, p. 299. 1905.

VII

ORIGINE ET MODE DE FORMATION

Différentes hypothèses ont essayé à plusieurs reprises d'expliquer le mode de formation des matériaux sidérolithiques et d'en reconnaître l'origine. Dans la première partie de cette étude, j'ai indiqué en passant les principales, il reste à les examiner et aussi à en compléter l'énumération.

A certains égards, leur étude pourrait être faite avec utilité et intérêt suivant deux méthodes, selon que l'on aurait en vue l'évolution des idées, ou bien au contraire, les affinités réciproques des hypothèses. Par une coïncidence assez rare, mais parfaitement normale, il se trouve que la classification chronologique de ces hypothèses ne diffère que très faiblement de leur groupement par analogie. Ainsi, les deux grandes catégories qui s'imposent à priori, groupent d'une part, les hypothèses dont le point de départ est une origine interne et de l'autre, celles, qui au contraire, n'admettent qu'une provenance externe et superficielle pour les matériaux sidérolithiques : or, les premières sont les plus anciennes, les secondes sont les modernes.

Nous allons les examiner successivement dans cet ordre.

A. Hypothèses anciennes.

Comme il vient d'être dit, les théories appartenant à ce groupe, attribuent aux matériaux sidérolithiques une origine

interne; elles les font provenir plus ou moins directement de la profondeur terrestre par voie hydrothermale ou semi-plutonique même. Et comme le seul jeu des actions ordinaires et des phénomènes actuels réguliers est insuffisant pour expliquer ou pour justifier le développement énorme des gisements et l'accumulation complexe des matériaux, elles empruntent le secours de bouleversements, de cataclysmes irréguliers ou tout au moins sporadiques. Ce sont les plus anciennes : elles ont le mérite de la première heure, mais actuellement, elles sont de plus en plus abandonnées et leurs partisans deviennent de moins en moins nombreux.

Certes, il peut paraître aujourd'hui étrange, mais de prime abord seulement, que des hommes dont nous avons appris à vénérer la mémoire par leurs œuvres, se soient arrêtés à des considérations de cet ordre. Mais, pour les juger, faut-il aller jusqu'à eux, et ne pas oublier qu'en science, comme en histoire, la méconnaissance du moment, du milieu, est plus injuste souvent que la partialité. Ces théories, étranges, depuis seulement que le jeu des forces naturelles nous a livré en partie, le secret de sa plasticité et de sa variabilité extrêmes, reflètent leur époque; elles sont l'expression des doctrines de leur temps, au même titre que le silex du troglodyte ou le tableau du primitif, fixent le stade d'évolution de l'art chez un peuple et pour une époque. Sans doute, il n'est guère difficile d'y reconnaître des incon-séquences, des confusions grossières peut-être, mais encore, faut-il les passer sous silence et savoir apprécier la grandeur de l'œuvre, de même que dans une œuvre ancienne, artistique ou littéraire, un beau coup de pinceau, une belle page, peuvent excuser bien des défauts. Ceux qui étudient aujourd'hui leurs devanciers l'oublient trop souvent; on dirait même, qu'ils cherchent quelquefois dans les erreurs ou les confusions du passé, le piédestal de leurs productions personnelles.

Pour résoudre un problème complexe et difficile comme l'est celui qui nous occupe, il est indispensable d'avoir préalablement préparé une base sérieuse par l'observation rigou-

reuse et exacte, bien coordonnée, de nombreux faits : or, ce ne peut être le fruit d'un travail de début et toute l'œuvre de ceux qui, en partant de faits trop mal reconnus, ont essayé prématurément de résoudre le problème, se ressent de cette insuffisance. Nous aurions raison de leur reprocher d'avoir voulu atteindre trop tôt le résultat. Mais encore, ne faut-il pas oublier et méconnaître le droit qu'a tout travailleur d'interpréter les conclusions de ses propres observations.

Nous lisons avec admiration et souvent avec grande utilité, les anciens, par exemple, Aristote, Strabon, Pline, Agricola, etc., pourquoi agitons-nous différemment et serions-nous plus injustes envers des hommes, dont nous sommes peut-être les disciples et qui n'ont d'autres défauts que d'avoir peiné et écrit à une époque plus rapprochée de la nôtre et qui souvent, nous ont frayé la route.

Les débuts du XIX^e siècle, auxquels appartiennent la plupart des anciennes hypothèses, furent remplis par la grande querelle des Plutoniens et des Neptuniens. Hutton à Edimbourg, Werner à Freyberg, eurent leurs écoles, mais pas assez fermées cependant pour que les idées des maîtres ne pussent passer de l'une à l'autre. C'était d'ailleurs l'âge classique, peut-on dire, du catastrophisme et pour échapper à l'influence de l'époque, il aurait fallu devancer les temps. A la suite de Lazzaro-Moro (1740), Charpentier soutenait en 1823, l'origine éruptive du sel gemme des salines de Bex (Vaud) et en 1834 encore, Alberti se faisait le champion de cette même opinion. Omalius d'Halloy (1812), Brongniart et Cuvier¹ (1822) faisaient également du calcaire d'eau douce de France, d'Italie et de Hongrie un travertin geysérien, tandis que Léopold de Buch réclamait (1822) une origine éruptive, par des vapeurs, pour la dolomie du Tyrol et le

¹) « Nous ne pouvons nous refuser d'attribuer à des eaux calca-rifères sortant du sein de la terre et de dessous le terrain de sédiment le plus ancien, la formation des terrains d'eau douce d'Italie et de Hongrie. »

AL. BRONGNIART et G. CUVIER.

gypse du Hartz, alors qu'allant plus loin encore, d'Halloy (1836) évoquait la même cause pour les argiles et les sables bruxellois. Enfin, c'était l'époque de l'apparition de cette théorie si longtemps défendue, des « cratères de soulèvement » de Léopold de Buch et d'Elie de Beaumont, qu'un disciple et élève de l'immortel professeur de l'École supérieure des mines, J. Thurmann, devait, je dirais volontiers, « paraphraser » pour les Monts Jura, dans ses « soulèvements du Porrentruy ».

Qu'y a-t-il alors de surprenant, qu'Al. Brongniart imagine pour ses fers pisiformes, une origine par voie hydrothermale et que A. Gressly, l'ami de J. Thurmann, la complique encore de phénomènes éruptifs? L'accueil qui fut accordé à ces doctrines, la faveur dont elles jouissent même encore aujourd'hui, constituent des témoignages suffisamment éloquents pour éviter plus amples commentaires.

Les hypothèses anciennes se subdivisent en deux groupements :

Le premier groupement, le plus nombreux, comprend toutes les hypothèses qui utilisent l'action des eaux minérales et thermales, comme véhicules des éléments sidérolithiques, amenés de la profondeur à la surface terrestre. Parmi les principales je citerai celles de Al. Brongniart, de Thirria, d'Alberti, de Jäger, de Müller et de Kœchlin-Schlumberger.

Au second groupe, moins important, appartiennent les théories qui ajoutent au jeu des eaux thermales, l'action des phénomènes éruptifs ou semi-plutoniques. Les plus importantes sont celles d'Amanz Gressly (1838-41) et d'Aug. Quinquerez.

Nous avons donc à étudier successivement :

- a) Les théories hydrothermales ;
- b) Les théories semi-plutoniques.

a) Théories hydrothermales.

I. Hypothèse d'Alexandre Brongniart.

Le premier ¹⁾, Al. Brongniart, proposa une explication de l'origine et du mode de formation des matériaux sidérolithiques. Sa théorie est exposée dans un petit mémoire, déjà bien oublié, sur les *Brèches osseuses et les minerais de fer en grains pisiformes de même position géognostique*, publié en 1828 ²⁾.

Pour Brongniart, le minerai de fer — il ne se préoccupe guère des autres produits qui l'accompagnent — est un précipité d'oxyde de fer des eaux thermales ferrugineuses venant de la profondeur par les fissures et les crevasses des terrains calcaires jurassiques et autres. La forme des pisolithes n'est pas le résultat du transport ou du roulement, mais le fait d'une action chimique, la précipitation en pleine émission des eaux bouillonnantes, d'après un processus comparable à celui qui aujourd'hui encore produit les pisolithes calcaires de Carlsbad. Toutefois, il prétend que c'est une précipitation très localisée « qui a accompagné ou précédé de très près, l'époque où le minerai a été étendu à la surface du sol voisin où il s'est formé, ces mêmes sources en s'épanchant à la surface au travers des fissures ou des fentes du sol le déposaient, ou même quelquefois l'accumulaient déjà dans les fissures, où il devait se trouver mêlé à des débris de roches calcaires, ce qui avec l'aide d'un ciment ferrugineux engendrait les brèches ».

Brongniart admet donc par ces considérations, un véritable *remplissage de bas en haut per ascensum*, et *in situ*.

¹⁾ Al. Brongniart n'est pas, en réalité, le premier géologue qui essaya d'expliquer ces formations, car avant lui déjà, il y eut quelques essais, mais nous ne saurions en tenir compte.

²⁾ AL. BRONGNIART : *Annales des Sciences naturelles* 1828, XIV, p. 410 et 1829.

Mais n'oublions pas, qu'il attribuait aux phénomènes d'alluvionnement et de transport par les eaux un rôle important, car sans doute déjà alors, il avait tracé les grandes lignes de sa « classification des terrains » qui devait paraître deux ans plus tard et dans laquelle il laissait une si large place aux *terrains diluviens*, comprenant *ses terrains clysmiens*, qu'il définissait par « transport ou alluvion ». En outre, nous avons vu plus haut, qu'il récusait le *superstratum* sidérolithique, car il est très expressif sur ce point : « ce minerai est superficiel : je n'ai vu nulle part aucune couche pierreuse régulièrement placée au-dessus de lui et je ne sache pas qu'on cite d'exemple évident du contraire ». Et cependant il connaissait de travail de Mérian, qui avec Escher subordonnaient le bohnerz de l'Argovie à la mollasse suisse et lui-même avait visité le Jura bernois où ce *superstratum* est très apparent. Mais comme bien d'autres à sa suite — et sous son influence peut-être, — il ne fit pas attention à l'observation du professeur bâlois et j'ai déjà dit ailleurs, qu'il ne paraît pas avoir identifié nettement ses fers pisiformes avec les bohnerz des Allemands.

Est-ce pour ces motifs, qu'il se crut obligé, ou qu'il se vit forcé, peut-être même, de faire intervenir dans son hypothèse « la grande catastrophe aqueuse qui est venue balayer la surface du globe, qui paraît avoir mis en mouvement les blocs erratiques!... et entraîné dans les cavernes et les fentes les débris d'animaux et de roches répandus dans leur voisinage, a de même rejeté dans les fissures et les cavernes jurassiques le minerai pisiforme qui en sortait et en a rempli les vides que ces cavités pouvaient encore présenter. » (p. 23). Certains auteurs le pensent. Toutefois, il me semble qu'en agissant ainsi, contrairement à ce que dit Levallois ¹⁾, Brongniart n'était véritablement la victime d'aucun préjugé, il interprétait de son mieux un phénomène complexe qu'il ne saisissait pas, parce qu'il confondait certains faits très importants.

¹⁾ LEVALLOIS : *B. S. G. France* 1870, XXVIII, p. 183.

Pour lui, l'apparition des sources « sidérolithiques » était un phénomène particulier d'une époque géologique très agitée ; il avait donc le droit d'invoquer les cataclysmes, d'autant plus qu'il était, comme son temps, catastrophiste et que surtout, la seule action des forces ordinaires et régulières était insuffisante pour expliquer l'ensemble du phénomène.

La confusion que commet Brongniart en rapprochant des phénomènes glaciaires les remplissages sidérolithiques. (quelques-uns seulement !), peut paraître aujourd'hui monstrueuse ; d'ailleurs on la lui a vivement reprochée. Et cependant, pour son temps, elle n'a rien de si extraordinaire, puisque le problème glaciaire venait à peine d'être soulevé par Charpentier et Venetz père et que l'âge des gisements sidérolithiques n'était affirmé par aucun reste organisé fossile. Pour l'interprétation de son hypothèse, Brongniart ayant besoin d'un agent puissant, empruntait celui qui était alors à la mode, tout comme aujourd'hui les nappes de charriage ou les chevauchements résolvent bien des problèmes ! Quant à prétendre, comme l'ont fait certains, que cette confusion est la conséquence de faux préjugés, c'est là une accusation purement gratuite. Déjà alors, Brongniart distinguait pour ses dépôts de minerais pisiformes, deux groupes : d'une part, ceux formés directement *per ascensum* et *in situ* et de l'autre, ceux résultant du grand bouleversement et formés *per descensum*.

Au premier groupement appartiennent les crevasses à minerais, mais sans ossements, au second, celles à ossements : les brèches osseuses. Il distinguait donc en réalité les minerais en place des minerais remaniés. Le Jura n'avait alors fourni aucune preuve intéressante de ce remaniement dans la formation des brèches osseuses, c'était donc là une objection à son interprétation. Mais il y répondait en disant, que la formation du minerai de fer pouvait être antérieure au remplissage des fissures et des cavernes et peut-être même au dépôt de la mollasse et de la gompholithe, et si, dans le Jura, les ossements font défaut, c'est que le remaniement n'a pas eu à remplir des crevasses qui l'étaient déjà, ce qui

n'était pas le cas pour la région méditerranéenne où ce remplissage s'est fait par les brèches osseuses à ciment ferrugineux. Et dans sa classification, il confirma cette même opinion, en groupant les cavernes à brèches osseuses d'Antibes, de la Carniole et du Jura, dans les *terrains clastiques*, tandis que le fer pisolithique du Jura, du Berry et de la Franche-Comté est placé dans les *plusiaques*.

Quant aux crevasses, aux fentes, aux cavernes qu'il confond d'ailleurs, il n'en explique pas autrement l'origine ; il admet seulement que leur formation est antérieure au dépôt du fer pisiforme et il ajoute que « la même cause qui a ouvert les fissures dans le Jura, paraît avoir agi à peu près dans le même temps sur les bords du bassin de la Méditerranée » (p. 20).

Telle est succinctement exposée la théorie émise par le fondateur de la Stratigraphie de France. Son influence sur l'orientation des idées de l'époque fut énorme. Elle fut généralement admise ; d'Halley, la plupart des géologues s'en firent les défenseurs, et on la retrouve dans ses grandes lignes à la base des autres hypothèses émises dans la suite. Quelles que soient la fantaisie de certaines de ces interprétations ou l'erreur manifeste de quelques autres, elle n'est pas moins cependant la première en date et en importance. Mais si elle a le mérite de la première heure, elle en a aussi les défauts. Ses partisans sont aujourd'hui assez rares, mais elle n'est pas cependant totalement abandonnée et tout récemment, en 1888, un géologue français, M. de Grossouvre ¹⁾, ingénieur des mines, a essayé de lui redonner un peu d'actualité, mais sans beaucoup de succès, semble-t-il. Je reviendrai aux idées soutenues par Brongniart et M. de Grossouvre après avoir exposé les autres hypothèses.

II. *Hypothèses d'Emile Thirria.*

L'ingénieur des mines Emile Thirria, dont j'ai déjà si-

¹⁾ DE GROSSOURE : *Minerais du Centre de la France*. An. des m. sept.-octobre 1886 et B. S. G. Fr. 3^e, XVI, p. 287. 1888.

gnalé l'œuvre géologique, fut amené le premier, à modifier, et surtout à compléter l'hypothèse de Brongniart. Il fit connaître à deux reprises différentes, en 1833 d'abord, puis en 1851, deux essais d'interprétation de la formation sidérolithique. Le premier parut dans sa « Statistique minéralogique et géologique de la Haute-Saône » ¹⁾ de 1833. Il est peu connu.

Comme Brongniart, Thirria admit une origine hydrothermale pour la silice et la matière ferrugineuse, les attribuant, en partie du moins, à des sources minérales qui sourdaient dans le bassin où le terrain s'est déposé : ce sont des précipitations chimiques. Toutefois, il refuse une trop grande importance à l'action chimique, qu'il paraît évaluer par la puissance de cristallisation présentée par les sédiments. Or, comme dans l'espèce, les formes cristallines sont exceptionnelles, il en conclut à une sédimentation par voie mécanique. La forme même des pisolithes, d'après lui, tiendrait à ce fait et leur structure concentrique résultat de l'attraction moléculaire, serait une tendance vers la cristallisation non effectuée.

Mais où Thirria se sépare plus encore de Brongniart, c'est en affirmant que le terrain du fer pisiforme, qu'il avait créé dans sa classification, s'est formé dans un liquide analogue à celui des mers actuelles. Avec Voltz son ami, nous avons vu déjà qu'il avait recueilli, mêlés aux minerais, quelques fossiles marins, ce qui expliquerait alors cette opinion. Et cependant, tout en se séparant ainsi de Brongniart, il reste, avec lui, catastrophiste. Du fait qu'il rencontra dans quelques conglomérats calcaires des débris végétaux, il en vint à penser qu'une tourmente avait dû se manifester pendant la sédimentation de ces produits.

On sent dans cet « entassement » d'idées, que Thirria cherchait une voie que les doctrines courantes ne lui offraient pas, mais on sent aussi, qu'il n'était pas prêt de la trouver, malgré la grande connaissance qu'il avait des formations sidérolithiques du Centre et de l'Est français.

¹⁾ E. THIRRIA : Voir l'Index général.

La seconde hypothèse de Thirria complète encore celle de 1833. Elle se rapproche davantage que la première de celle de Brongniart. Elle fut publiée en 1851, dans son excellent mémoire *Sur les similitudes qui existent entre les minerais de fers en grains de la Franche-Comté et ceux du Berri*, paru dans les *Annales des Mines*.

Le minerai de fer serait alors le résultat de la précipitation chimique dans les eaux minérales, thermales et acides, qui durant le tertiaire, furent particulièrement abondantes dans le Berry et la Franche-Comté. Ces eaux arrivaient à la surface par les anciens passages des sources minérales des époques précédentes ou par des issues nouvelles qu'elles s'étaient ouvertes, mais elles s'épanchaient dans des lacs d'eau douce. Elles tenaient en dissolution diverses substances: des carbonates de fer, de manganèse, de chaux, mais en moindre proportion pour ce dernier, de la silice, de l'alumine, du phosphate de fer ou d'alumine.

Par contre, comme Brongniart, il pense que les grains de fer ont dû se former comme les pisolithes de Carlsbad, de St-Philippe et de Tivoli, tantôt dans les fentes et les crevasses par lesquelles les sources se déversaient, tantôt au fond des lacs où ces eaux s'épanchaient; mais la forme résulterait toujours de l'attraction moléculaire autour d'un centre, noyau argileux, calcaire, débris organique même, etc...

Tant que les eaux acides, acidulées surtout par l'acide carbonique dissout, circulaient dans les fentes ou les galeries qu'elles traversaient pour se faire jour à la surface, leur composition variait peu, il n'y avait guère de précipitation, par suite de la pression exercée dans cette circulation en conduite fermée. Mais cette pression venant à être modifiée, cas qui devait se produire inévitablement à leurs résurgences, immédiatement, il y avait dégagement d'acide carbonique, sulfurique peut-être et précipitation. Le carbonate de fer précipité de ce fait passait au peroxyde grâce à l'oxygène fourni par l'eau douce: celui de manganèse subissait également cette même transformation et lorsque les eaux étaient calmes, il se produisait des rognons, des tubercules, des pla-

quettes, des concrétions diverses, tandis que l'agitation favorisait la formation des pisolithes. La silice également en solution, grâce à l'acide carbonique, se précipitait aussi, entraînant avec elle l'alumine pour former des alumino-silicates de fer. Enfin, le carbonate de chaux, le phosphate de fer... devaient se déposer à leur tour. C'est ce carbonate de chaux précipité qui a fourni les nodules calcaires à grains de fer et le ciment des conglomérats.

Mais pour admettre un semblable processus, l'action seule de l'acide carbonique est insuffisante, aussi Thirria la complète-t-il par celle de l'acide sulfurique et c'est par elle qu'il justifie la présence de l'alumine, la formation des nodules ou des grains de sulfure de fer. Et avec ses contemporains, il croit que les traces évidentes de corrosion que présentent les parois des fentes ou des crevasses ou le fond qui sert de substratum aux matériaux sidérolithiques sont la preuve de l'action des eaux acides et il y trouve un argument en faveur de sa théorie.

Comme on le voit par cet aperçu rapide, cette seconde hypothèse de Thirria diffère notablement de la première, à tel point qu'on pourrait se demander si véritablement toutes deux sont bien l'œuvre du même savant. Mais ici encore, Thirria offre le type accompli du géologue qui défend ses idées, les développant, les corrigeant, en un mot cherchant toujours à aller de l'avant. Catastrophiste encore en 1833, avec Brongniart, il devient actualiste!... et en 1851, il n'évoque plus ni tourmente, ni catastrophisme : les brèches, les conglomérats, résultent tout simplement du travail des torrents se déversant dans les lacs où se produisait le phénomène sidérolithique.

Thirria en 1833 cherchait sa voie. Il l'a trouvée en 1851. S'il n'a pas pu la tracer jusqu'au bout, il l'a ouverte du moins. Toute l'importance de sa dernière théorie tient à ce fait : l'action de l'acide carbonique.

Ce sont les idées de Thirria que Jäger et Alberti soutinrent en Allemagne; mais je ne m'y arrêterai pas, il suffit d'en faire mention.

III. Hypothèse d'Albert Müller.

Le professeur bâlois, Alb. Müller est également l'auteur d'une hypothèse sidérolithique, qu'il publia en 1857 dans les mémoires de la Société des Sciences naturelles de Bâle : *Ueber die Entstehung der Eisen und Manganerze im Jura*.

L'hypothèse de Müller continue celle de Thirria. Son auteur l'imagina surtout pour combattre et réfuter celle d'A. Gressly, alors très soutenue. Müller tend vers l'actualisme, mais il n'arrive pas à se dégager du catastrophisme de Gressly.

Dans l'intérieur de la terre, les masses éruptives en ignition sont en contact avec les dépôts calcaires de sédiment. Sous l'influence de ce contact, d'après Müller, il doit se produire d'abondants dégagements de gaz carbonique libre, qui cherchant une issue pour se dégager, passe par dissolution dans les eaux thermales qui l'absorbent sous pression et de ce fait deviennent acides. En circulant alors au travers du sol par les fissures, les fentes préexistantes ou par les passages qu'elles s'ouvrent, ces eaux acidulées dissolvent les calcaires qu'elles traversent.

Müller base son hypothèse sur des expériences de laboratoire. C'est le premier semble-t-il, qui ait songé à utiliser l'expérimentation comme méthode de recherches dans la solution du problème sidérolithique. L'acide carbonique en solution agit à la longue sur les roches calcaires, à la manière des autres acides, mais moins énergiquement et surtout moins rapidement : il y a une dissolution et un résidu d'argile et de sable. Presque tous les calcaires sont riches en fer oxydé et en manganèse ; ils renferment également de la silice, de la magnésie, en un mot, toutes les substances que l'on retrouve dans les matériaux sidérolithiques. Si donc on suppose des eaux capables de les dissoudre et d'en séparer les éléments par précipitation ou par voie mécanique même, il n'est pas difficile d'expliquer la provenance et le mode de formation des dépôts de bohrnerz.

L'hypothèse de Müller n'eut pas grand succès, du moins

directement. Il est vrai qu'elle est très incomplète. Mais elle eut le mérite, d'accentuer la rupture avec la vieille école catastrophiste et d'inaugurer, en la question, l'expérimentation, comme méthode de recherches.

IV. Hypothèse de Kœchlin-Schlumberger.

C'est un peu improprement que je parle ici d'une hypothèse de Kœchlin-Schlumberger, car c'est plutôt une simple revision très augmentée, de celle du professeur balois, Albert Müller, qui vient d'être exposée. Kœchlin attire l'attention sur certains faits très importants que Müller paraît avoir trop négligés. Parfois cependant, il emprunte des arguments à Thirria (2^e hypothèse, 1851). Mais précisément en raison de ce caractère synthétique que présente la théorie de Kœchlin et aussi, à cause de certains faits qu'elle met bien en relief, je crois devoir lui réserver une place dans cette énumération.

D'après Kœchlin, les eaux des sources sidérolithiques invoquées par Müller devaient être très riches en carbonate de fer dissout, mais pauvres en carbonate de chaux, en magnésie et en oxyde de manganèse. La silice, l'alumine n'étaient pas dissoutes, seulement en suspension. Il attache beaucoup d'importance à ce fait et avec raison, car, sans ces conditions, il est assez difficile d'expliquer la composition minéralogique des matériaux sidérolithiques. Mais constituées comme le pense Kœchlin, ces eaux deviennent de véritables solutions prêtes à précipitation et précisément, il explique, qu'en, raison des pressions exercées sur cette circulation en conduite fermée, les eaux saturées de carbonate de fer, ne pouvaient dissoudre le carbonate de chaux des terrains calcaires qu'elles traversaient, ni échanger leurs bases. Par contre, une fois arrivées au repos, de nombreux échanges se produisaient entre la masse liquide et les terrains en contact, en même temps que des précipitations chimiques ou mécaniques s'effectuaient. Le carbonate de fer, par un procédé bien connu,

¹) KÖEHLIN-SCHLUMBERGER : B. S. G. Fr. 2^e XIII. 1856. p. 729. •

passait au peroxyde et se déposait, laissant libre une grande quantité d'acide carbonique, qui produisait alors les formes de corrosion bien connues sur les parois, les impressions des galets même. La magnésie, le manganèse, comme le fer, se précipitaient, alors que la silice et l'alumine se déposaient seulement.

Quant à la structure concentrique des pisolithes, elle ne serait pas le résultat du bouillonnement des eaux, mais simplement une épigénie des concrétions oolitiques astartiennes.

b) Théories semi-plutoniques.

Les hypothèses de ce groupe sont peu nombreuses. Leur principal caractère est dans l'importance qu'elles attribuent aux phénomènes d'ordre plutonique. Toutes sont cependant hydrothermales et empruntent surtout les principes de l'hypothèse de Brongniart. Aucune d'elles n'est admise aujourd'hui.

1. Hypothèse de Amanz Gressly.

C'est dans son ouvrage si apprécié, mais trop peu connu: *Observations géologiques sur le Jura-Soleurois* ¹⁾, publié de 1838 à 1841, que Gressly fit connaître et la notion des faciès et son hypothèse sidérolithique. L'hypothèse de Brongniart lui paraissant incomplète, le géologue soleurois se proposa de la compléter. En réalité, il ne fit que l'amplifier, en la compliquant bien inutilement de phénomènes éruptifs qu'aucun fait fondé ne justifiait. Toutefois, Gressly fut un observateur de première force et en exposant son ingénieuse, mais trop fantaisiste théorie, il croyait partir cependant de faits bien établis.

D'après lui, « les dépôts sidérolithiques ne présentent pas, en général, les caractères ordinaires des terrains purement

¹⁾ A. Gressly. Voir l'Index.

neptuniques », p. 184. C'est la base de son hypothèse. Et pour établir cette constatation qu'il admit en principe, trop tôt sans doute, il évoque la composition minéralogique des gisements sidérolithiques, qui lui paraît assez comparable à celle des dépôts dus à certaines sources minérales, chaudes et jailissantes, leur irrégularité, qui rappelle les nappes d'épanchement par coulées boueuses et surtout, l'absence de fossile, qui exclut une origine marine. En outre, Gressly attribuait une importance énorme à la position des dépôts : d'une part aux crevasses et cavernes à parois corrodées, fréquemment en contact avec la masse des dépôts; de l'autre, aux phénomènes tectoniques divers, bouleversements, failles, etc., que présente assez souvent le sol des bassins sidérolithiques. Et pour ce dernier motif surtout, Gressly pensait pouvoir admettre une connexion intime entre la puissance des dépôts sidérolithiques et l'importance des chaînes soulevées, car il avait cru reconnaître, que les dépôts sont constamment localisés le long des lèvres de rupture des failles longitudinales du pied des chaînes jurassiennes, régions qu'il considérait comme parties faibles de l'écorce terrestre. Cela étant, la disposition même des chaînes concourt avec celle des dépôts à l'identification des points centraux de soulèvement et des ruptures cratériformes en « crabonnières » qui jalonnent la chaîne jurassienne et le bassin sidérolithique suisse.

Partant alors de ces prémisses, admises en principe, Gressly termine son syllogisme et en conclut :

1. Une connexion intime entre la formation du terrain sidérolithique et les phénomènes du soulèvement jurassien.
2. Une relation de cause à effet entre le soulèvement et la formation éruptive, semi-plutonique tout au moins, des dépôts de minerais de fer.

Et alors, avec une imagination et une poésie qui n'ont rien de géologique, Gressly fait intervenir :

1. Des vapeurs incandescentes riches en acides et en oxydes parcourant les crevasses aujourd'hui remplies de brèches.

2. Des épanchements réels de matière ferrugineuse en fusion ou en pâte boueuse, par les failles et les crevasses qui en dérivent.

3. Des filets d'eau apportant par les fissures du sol bouleversé, les silicates terreux et les argiles smectiques.

4. Des sources en ébullition très puissantes, dans lesquelles se forment les minerais isolithiques.

5. Enfin, de véritables cratères d'éruption situés le long des failles.

Comme Brongniart, qu'il suit d'ailleurs très servilement, Gressly admit des remplissages *per ascensum* et *in situ*, lesquels dans l'espèce devenaient véritablement filoniens. Et aussi comme Brongniart, pour justifier d'autres remplissages *per descensum*, il évoque, un « grand charriage aquatique » qui eut pour résultat la régularisation interne et géographique des dépôts et des gisements.

Gressly attribue encore une grande signification aux phénomènes de soulèvement et il me semble, après avoir beaucoup étudié son œuvre, que c'est à l'influence de cette théorie d'Elie de Beaumont, de L. de Buch et de J. Thurmann, que le géologue soleurois dut ses grosses confusions, comme on peut facilement s'en convaincre en continuant l'examen de son hypothèse.

La force qui en agissant de bas en haut a provoqué le soulèvement jurassique, a déterminé de ce fait des ruptures, tant au sommet des voûtes, qu'à l'origine même des flancs de la voussure.

Les strates les plus éloignés sont ceux qui ont le plus souffert; chaque soulèvement ressemble à un entonnoir ouvert et béant par en haut, fermé par en bas et ce qui a lieu pour l'axe de la voûte, a lieu également, mais en sens opposé, pour les lèvres latérales. Il y a ainsi deux séries de fractures, de directions différentes, les unes ouvertes par le haut, les autres ouvertes par le bas. Les premières sont forcément plus éloignées du centre igné que les secondes qui sont en communication directe avec lui, et pour ce motif, les premières sont simplement des *cratères d'explosion* à dégagement gazeux,

alors que les secondes, véritables cheminées volcaniques, livrent passage aux matériaux plutoniques, fluides ou semi-fluides de la masse centrale en voie d'épanchement.

De cette façon, il y aurait bien deux espèces de « volcans », car c'est ainsi que Gressly se figure le processus : des volcans gazeux (à dégagement) servant de soupapes et des volcans (à épanchement) comparables à ceux qui se manifestent encore de nos jours, dont la seule distinction serait simplement leur position géographique. Il justifie ces considérations par des comparaisons et des rapprochements avec les volcans d'Italie et du Mexique surtout.

Quant à l'époque pendant laquelle ces phénomènes se sont produits, Gressly la fait commencer avec les premières commotions du sol jurassique; mais il admet également que ces mêmes phénomènes ont pu se continuer durant tout le soulèvement. Il les lie même aux *épigénies dolomitiques et gypseuses des voûtes et failles keupériennes et conchylliennes* et de ce fait, l'époque sidérolithique de Gressly s'étendrait de la fin du Jurassique au milieu du tertiaire, tout au moins.

Telle est, un peu trop brièvement exposée, la théorie si connue de A. Gressly. Elle eut un succès et une importance énormes et c'est à peine si durant tout le cours de son règne, elle fut combattue ou simplement corrigée. Nous avons vu en effet, que le premier coup lui fut porté par le prof. bâlois A. Müller. Le Dr Greppin l'admit telle quelle pendant très longtemps; mais A. Quiquerez en publia déjà en 1852, un complément, précisant certains points ou en développant quelques autres. Mais en réalité, Quiquerez ne saurait être considéré comme l'auteur d'une hypothèse personnelle.

II. Hypothèse Gressly-Quiquerez.

En 1852, l'ingénieur des mines du Jura bernois, A. Quiquerez ¹⁾ publia un mémoire : *Recueil d'observations sur le*

¹⁾ A. Quiquerez. in N. Mémoires Soc. helv. Sciences naturelles 1852.

terrain sidérolithique dans le Jura bernois, du plus grand intérêt.

Quiquerez attire l'attention sur quelques faits importants, signalés pour la plupart par Gressly, mais trop peu développés par ce dernier. Les phénomènes d'altération de contact, de corrosion sont surtout bien étudiés, mais au point de vue de l'auteur. Il va plus loin encore que Gressly au sujet des failles éjectives et signale en plus de celles déjà indiquées, des remplissages de sables siliceux.

En outre, le géologue de Bellerive, en citant les observations, indique les lieux où elles ont été faites, et c'est un de ses grands mérites; par malheur, il est aujourd'hui souvent impossible de les vérifier.

Pour lui, le centre de la formation serait le val de Delémont et quelques vallées voisines. Il avait assez bien reconnu les caractères géographiques des gisements, mais comme Gressly, il admit les phénomènes de soulèvement de bas en haut, un peu obliquement cependant pour les chaînes latérales.

Ce n'est que plus tard, vers 1855, qu'il attribua un rôle bien important à l'acide carbonique. Auparavant, admettant l'action des eaux minérales et des matériaux éruptifs, la corrosion, le métamorphisme des roches s'expliquaient d'eux-mêmes.

En 1856, dans une lettre à Kœchlin, Quiquerez affirme qu'il conteste l'hypothèse de Gressly, niant toute cause plutonique ou volcanique; mais Greppin avait déjà alors publié ses « notes géologiques »²⁾.

c) **Théories extra-terrestres.**

Sous cette appellation, peu compréhensible peut-être, mais pourtant très expressive dans le cas, se place une théorie assez étrange et peu connue.

²⁾ Dr J. B. Greppin. in N. Mémoire Soc. helv. Sciences naturelles 1855.

Hypothèse de M. Frey.

Dans une lettre, M. l'ingénieur Frey, inspecteur des mines du Jura, a bien voulu m'exposer son hypothèse sur la formation des pisolithes ferrugineuses. D'après M. Frey, les grains de fer seraient dus à *une pluie de fer* provenant de nuages chargés de vapeurs de fer refroidis et condensés. En tombant et en continuant à se condenser, la matière ferrugineuse « devait prendre la forme globuleuse ».

Cette interprétation, d'après M. Frèy, expliquerait, ce que ne font pas les autres hypothèses, la forme des pisolithes et leur distribution dans les bols.

Elle en fait une sorte de pluie fossile ¹⁾.

Il est vrai que M. Frey, à qui j'exprime ici ma gratitude pour les nombreux renseignements qu'il m'a fournis si obligeamment, avoue que son hypothèse n'est pas généralement admise.

B. Hypothèses modernes.

Les hypothèses de ce groupe ne sont qu'au nombre de deux. Elles méritent leur titre de modernes, moins peut-être pour le fait de leur apparition plus récente, que parce qu'elles empruntent leurs principes aux doctrines actualistes. Elles ont, en effet, pour caractère commun de repousser l'origine interne des matériaux sidérolithiques et de récuser toute intervention des phénomènes cataclysmiques.

Battu en brèche déjà par ses propres disciples, le pur catastrophisme de Brongniart et de Gressly a reçu le coup de grâce par l'apparition des hypothèses du prof. Dieulafait, de Marseille et du savant géologue belge M. E. van den Brœck.

Nous allons étudier successivement l'œuvre de chacun d'eux.

¹⁾ On sait que le vent, la pluie, ont parfois imprimé sur les roches meubles des traces de leurs actions que l'on a appelées *vent fossile* (gypse des environs de Paris), *pluie fossile* (empreintes de certains grès triasiques à moulages sableux, etc.).

I. Hypothèse de M. Dieulafait.

C'est dans son mémoire ¹⁾ sur les phosphates de chaux que Dieulafait a fait connaître sa théorie sidérolithique. Quel que soit jamais le sort de l'hypothèse, le mémoire restera cependant classique. Pour la première fois, il me semble, « l'origine externe » des produits sidérolithiques fut affirmée, en même temps que l'analogie des phosphorites et des minerais pisolithiques y était admise en principe. Pour ce dernier motif surtout, le mémoire du perspicace professeur de Marseille mériterait d'être mieux connu.

L'hypothèse de Dieulafait, car c'est une hypothèse, part d'un principe nouveau, mais utilise une méthode déjà ancienne. Jusqu'à lui, tous les géologues, presque sans exception, je crois, avaient soutenu le principe d'une eau ascendante sidérolithique. Si quelques-uns avaient parlé d'une formation *per descensum*, c'était pour expliquer surtout des remaniements postérieurs. Dieulafait admet une eau *descendante* et par conséquent ne provenant pas de la profondeur, mais existant à la surface ; il la qualifie de « normale ».

Ces eaux descendantes ont alors produit des actions de *corrosion* considérables : il leur attribue « tous les vides actuels, par enlèvement des calcaires ». Il explique leur puissance de corrosion par le fait qu'elle ont emprunté de l'acide carbonique à l'air d'abord et qu'ensuite, elles se sont enrichies « de deux acides formés par le contact des substances bitumineuses et le soufre des sulfures contenus dans les roches ». Toutefois, même alors, l'agent ne semble pas assez fort et Dieulafait en invoque un second, l'évaporation des eaux lagunaires. De telle sorte que les produits sidérolithiques seraient d'une part, le résultat de la corrosion des calcaires de contact par des eaux acides et de l'autre, « des produits anormaux, empruntés aux boues et aux eaux des lagunes ».

¹⁾ M. DIEULAFAIT. *Origine et mode de formation des phosphates de chaux en amas dans les terrains sédimentaires. Leur liaison avec les minerais de fer et les argiles des terrains sidérolithiques.* An. Phys. chim. 1884-85. VI^e Sér. V. p. 204.

Partant de cette même idée, il en vient à considérer les produits sidérolithiques comme anormaux? Et cependant, il reconnaît qu'il s'est formé des terrains sidérolithiques à toutes les époques; il admet même leur identité avec les bauxites, etc...: « toutefois, la manifestation principale correspond à la période de formation des lagunes de l'Eocène... » (p. 240).

Quant à la méthode, c'est celle que déjà le prof. Al. Müller, de Bâle, avait employée pour essayer de reconnaître, par l'analyse chimique, une relation entre la composition des matériaux sidérolithiques et celle des calcaires, permettant de démontrer le passage des uns aux autres. Le professeur marseillais fut plus heureux que son confrère bâlois: il est vrai qu'il travaillait à un moment différent, qu'il avait des méthodes plus précises, plus modernes, le secours de Schlœsing pour les argiles, etc... et que surtout, il était plus dégagé de certaines idées que Müller ne pouvait alors rejeter sans être amené à modifier totalement sa propre hypothèse. Et cependant, malgré la netteté de ses conclusions: « L'étude de 68 échantillons de dépôts sidérolithiques empruntés aux localités classiques et celle de 68 échantillons de calcaires sous-jacents ont accusé, pour chaque série, une communauté d'origine évidente » (p. 239), Dieulafait n'était pas absolument convaincu. S'il l'était, pourquoi venait-il quelques lignes plus bas, expliquer tout au long le rôle des eaux lagunaires? C'était en s'exposant à des confusions grossières, compliquer la solution. On le lui a d'ailleurs et avec raison vivement reproché et cependant sa faute s'explique facilement: Dieulafait ne concevait pas l'érosion (corrosion) comme assez puissante pour produire un travail aussi considérable. Publiée quelques années plus tard, son hypothèse n'aurait pas eu ce défaut; mais elle aurait peut-être perdu sa nouveauté.

Il attribue la forme des grains, pisolithes ou nodules, au mouvement des eaux.

A signaler encore dans son hypothèse, ses observations sur le phosphore de fer et sur la composition des argiles.

En résumé, l'hypothèse de Dieulafait, marque vérita-

blement l'apparition d'une nouvelle école: plus spécialement, elle prépare l'hypothèse de M. van den Brœck.

II. Hypothèse de M. van den Brœck.

L'hypothèse soutenue par M. E. van den Brœck est en réalité antérieure à celle de Dieulafait, car au Congrès de géologie de 1878 à Paris, le savant géologue belge, présenta un premier mémoire sur *le rôle de l'infiltration des eaux météoriques dans l'altération des dépôts superficiels*; puis en 1881 parut son grand travail classique sur *Les phénomènes d'altération superficielle*. En dehors de ces deux mémoires principaux, M. van den Brœck a encore développé quelques unes de ses idées dans d'autres publications et je sais, qu'il a actuellement, en collaboration avec M. Rahir, une étude à l'impression sur le sidérolithique proprement dit.

Si cependant, je place cette hypothèse ici, après celle de Dieulafait, c'est parce que véritablement elle est la plus moderne par ses conceptions et la seule défendue encore par son auteur. On pourra peut-être me reprocher de lui avoir donné une préface dans celle de Dieulafait et cependant le reproche, bien que fondé, me paraît spécieux. Je ne prétends aucunement que Dieulafait ait influencé les idées personnelles de M. van den Brœck, mais si je lui attribue en quelque sorte le rôle de précurseur, c'est qu'il me semble bien évident que l'hypothèse hétérogène du professeur de Marseille a beaucoup contribué à faire accepter les idées plus nouvelles du secrétaire de la Société géologique de Belgique.

Le principe de l'hypothèse de M. van den Brœck repose essentiellement sur le travail de l'érosion continentale par les agents météoriques: l'eau, l'air, la température et ses variations, l'humidité, le froid, mais surtout l'infiltration superficielle.

L'eau de pluie lui paraît un agent capable d'une grande puissance d'érosion par dissolution chimique, désagrégation

¹⁾ E. VAN DEN BRÛCK. Consulter l'Index bibliographique.

physique, oxydation, réduction, etc. des roches et particulièrement des calcaires. L'eau de pluie est ordinairement riche en acide carbonique et en oxygène, plus riche même que l'air atmosphérique et par circulation en terre végétale, elle peut encore augmenter sa teneur en acide carbonique. Elle acquiert alors un grand pouvoir dissolvant et partant d'altération, de métamorphisme. Les roches calcaires spécialement sont vivement attaquées et corrodées avec une intensité dépendante des conditions climatiques, de la durée de l'action, de la nature, de la composition, de la perméabilité de la roche, etc.... Les éléments solubles sont enlevés, les fossiles disparaissent comme le carbonate de chaux et il se forme des dépôts des parties résiduelles limoneuses, argileuses, ferrugineuses. Les sels ferreux transformés en sels ferriques colorent les dépôts nouveaux dont la sédimentation a bouleversé la stratigraphie première. Le métamorphisme hydro-chimique est provoqué surtout par l'absorption des gaz en dissolution dans les eaux par les roches poreuses : l'acide carbonique est presque entièrement enlevé, l'oxygène, incomplètement, mais dans une forte proportion. Il en résulte que par dissolution et oxydation, le calcaire -est enlevé et il n'en reste qu'un résidu argilo-ferrugineux, dans lequel l'oxyde de fer s'est transformé en concrétions par transport moléculaire.

Toute l'hypothèse est d'ailleurs dans ces lignes :

« Les argiles ferrugineuses ou plastiques, le fer hydraté, le minéral de fer en grains, sont très généralement les résidus d'altération, de dissolution, de concrétionnement et de métamorphisme hydro-chimique de dépôts soumis à des phénomènes accentués d'altération sur place. »

Cette hypothèse rend compte ainsi, par le seul jeu des forces de l'érosion continentale, de la formation de produits très divers qui jusqu'ici avaient été attribués à des causes très différentes. Mais, tous se sont formés sur place, c'est leur caractère commun et une des causes de leur diversité.

Elle explique également la formation des dépôts argilo-ferrugineux sans calcaires, ni fossiles et les formes curieuses

d'érosion de leur substratum. Le rapprochement de toutes ces formations que tant de caractères communs réunissent, en « simplifiant beaucoup la question de géogénie et en éliminant de la série stratigraphique une foule de termes encombrants qu'on ne parvenait guère à classer convenablement » ce qui est certes un premier résultat dont la valeur n'échappera à personne, a de plus le grand avantage de substituer « aux actions locales, accidentelles, extraordinaires et généralement d'origine interne, une action simple, naturelle, irrésistible dans sa puissante lenteur; mais universelle à la surface du globe depuis son origine, variant dans son intensité, mais jamais dans sa cause ni dans ses effets » ¹⁾.

Telles sont les grandes lignes de la séduisante hypothèse de M. van den Brœck. Vivement combattue au début, de nombreuses conversions lui ont gagné des adeptes fervents et parmi ceux-ci je dois signaler particulièrement mon savant compatriote, M. le Prof. Dr L. Rollier à Zurich, qui en 1898 encore affirmait « qu'il est impossible de considérer le sidérolithique du Jura comme une simple terra-rossa » ²⁾ et qui l'an dernier en arrivait à une conclusion absolument opposée ³⁾. Par son dernier mémoire M. Rollier s'est montré un des plus fidèles disciples du savant géologue de Bruxelles.

Par contre, M. van den Brœck a gardé un contradicteur courageux en M. l'ingénieur des mines de Grossouvre, à Bourges, qui reste vaillamment un des derniers défenseurs de la vieille école opposant aux actualistes que « la théorie de l'origine éruptive paraît donner l'explication la plus simple de ces dépôts singuliers dont les caractères sont si distincts de ceux de la série sédimentaire » ⁴⁾.

¹⁾ *Du rôle de l'infiltration des eaux météoriques dans l'altération des dépôts superficiels*, par E. van den Brœck: p. 11 du C. R. sténographique du Congrès international de géologie tenu à Paris en 1878.

²⁾ L. ROLLIER: *Matériaux II, suppl.* p. 118, 1898.

³⁾ L. ROLLIER: *Die Bohnerzformation*, p. 158. Viertel Jahresschrift L. 1905.

⁴⁾ de GROSSOUVRE: *Etude sur les gisements de minerai de fer du centre de la France*. An. des M. p. 103, 1886.

En résumé, les hypothèses siderolithiques se ramènent aux types suivants :

I. Hypothèses anciennes. Formation per ascensum.	A. Formation par voie hydrothermale.	{	A. Brongniart :	1828
			E. Thirria :	1833
			E. Thirria :	1851
			A. Müller :	1855
			Kœchlin-Schlumberger :	1856
	B. Formation par voie hydrother- male et semi-plu- tonique.	{		
			A. Gressly :	1838
			A. Quiquerez :	1851
II. Hypothèses modernes. Formation per descensum.	C. Altération continentale.	{	Dieulafoy :	1884
			E. van den Brœck :	1878-1905

« Conclure est un tel penchant de l'esprit humain, qu'il n'a pas la patience de rassembler, tout ce qui serait nécessaire pour en tirer des conclusions légitimes; souvent même, il se hâte d'autant plus, que l'importance des objets devrait seule lui interdire la précipitation. »

[J. A. De Luc: *Discours préliminaire du Traité élémentaire de géologie*, p. 1, 1810.]

VIII

CONCLUSIONS

Les recherches qui précèdent n'ont eu qu'un but: étudier et poser le problème sidérolithique avec toutes ses données et sans souci de solution. Les faits ont été accumulés, groupés et parfois synthétisés. Il reste à les utiliser plus directement et avant tout à les interpréter. Si la science vit de faits, elle vit surtout de faits bien compris et c'est avec raison que M. de Launay soutient qu'il ne saurait y avoir science sans interprétation ¹⁾.

On me reprochera peut-être d'être téméraire et d'aller vite en besogne? Je reconnais sans peine le bien fondé de l'observation et le danger auquel je m'expose: le problème est complexe et ardu. Et cependant, je crois pouvoir conclure: j'ai étudié, observé, analysé aussi minutieusement et aussi longuement que le cadre de ce travail le permettait, les différents aspects du problème, utilisant largement l'aide et l'œuvre de mes devanciers, mais sans en être esclave cependant. Je ne prétends pas apporter une solution définitive mais je crois avoir le droit de faire connaître ce que sont mes croyances et personne ne me reprochera de soutenir mon opinion.

¹⁾ L. DE LAUNAY: *La Science géologique*, p. 32. 1905.

L'étude plus approfondie et plus méthodique de l'érosion continentale a conduit à reconnaître que parmi les agents puissants et constants de l'altération superficielle, les phénomènes sidérolithiques doivent occuper une place très particulière. Ils se sont manifestés avec des intensités très diverses; ils se sont réalisés sous des formes très variées, aussi bien dans le temps que dans l'espace. Obéissant à des lois générales, celles de l'érosion, ils ont contribué puissamment à la transformation superficielle des roches; mais, subissant des influences très spéciales, très différentes suivant les lieux et suivant les temps, leurs réalisations, tout en gardant une certaine uniformité d'ensemble, se sont parfois profondément différenciées. L'observateur qui les étudie, peut, un instant, les considérer comme les résultats absolument distincts de phénomènes n'ayant rien de commun; mais un examen plus sérieux et surtout une meilleure intelligence de la tactique des forces naturelles l'obligeront, sans tarder, à reconnaître, que dans les réalisations sidérolithiques, cependant si nettement différenciées, la poursuite d'un même but et une sorte de cachet commun y sont parfois facilement reconnaissables.

La différenciation des résultats doit cependant fatalement conduire à celle des processus: il y a ici, relation d'effet à cause. Mais alors, le vieux principe qui prétend que les mêmes causes produisent les mêmes effets, se trouve absolument infirmé. A cela, il n'y a rien de surprenant, car ainsi exprimé, le principe manque de précision, c'est une définition incomplète: M. H. Poincaré dit qu'elle n'est qu'approchée et ces études montreront, peut-être, que les mêmes causes sont capables de produire toute une série d'effets souvent très différenciés. Un effet, en géologie surtout, n'est pas l'aboutissant d'une cause, mais celui de nombreuses causes distinctes qui agissent pour atteindre leurs buts respectifs. Notre erreur résulte souvent, de ce que nous prenons pour simple ce qui est compliqué et aussi de ce que nous oublions qu'une même cause peut subir des influences bien différentes, qu'elle peut dépendre de facteurs bien divers, qu'elle est fonction

de ce que l'on a appelé à juste titre *les conditions influentes et les conditions restrictives* ¹⁾.

Les formations sidérolithiques avec leurs types plus nettement accusés et plus spécialement individualisés : produits de décalcification, sidérolithique proprement dit, bauxites, latérites, phosphorites, etc... sont précisément les traductions de la variation des phénomènes sidérolithiques : elles sont, en quelque sorte, le graphique même de cette variation. En d'autres termes, chacune de ces formations résulte *d'un travail* particulier, qui a pour mesure *l'intégrale des actions totales*, individuelles et reciproques, des forces qui sont entrées en jeu ; chaque type sidérolithique exprime les effets directs de ces forces agissantes et les effets complexes de ces mêmes forces associées. Et quand on examine attentivement combien et dans quelle mesure, le jeu de ces forces peut varier, on est surpris de constater que leurs diverses réalisations ne sont pas plus différenciés et en même temps, on comprend mieux pourquoi ces mêmes réalisations sont représentées par une série graduée de formes passant réciproquement les unes aux autres.

De même encore, la différenciation des Sidérolithiques peut s'expliquer par *l'action prépondérante* d'une ou de plusieurs forces. Il est difficile, sans doute, de préciser ces faits, et même de les expliquer. Le mot force peut devenir dangereux : s'agit-il bien dans ce cas, d'une force ou de plusieurs forces ? Ne vaudrait-il pas mieux parler de résultantes de forces ? Le travail isolé semble plutôt une exception pour les forces naturelles ; la règle, c'est bien l'aide réciproque, le travail en commun. Quoi qu'il en soit, l'individualisation d'un type, d'une forme, peut parfaitement s'expliquer par une action prépondérante.

¹⁾ M. le Prof. J. BRUNHES, dont l'enseignement et l'aide me seront très utiles pour cette partie de mon travail, a insisté à plusieurs reprises sur ces questions. On peut consulter notamment ses publications suivantes : *Les principes de la géographie moderne*, 1907 ; *L'irrigation, ses conditions géographiques, ses modes, son organisation dans la Péninsule ibérique et dans l'Afrique du Nord*. Paris 1902, p. 429-439.

Cette action prépondérante nous la connaissons par ses effets. C'est elle qui détermine la concentration du sesquioxyle de fer dans le Sidérolithique proprement dit, de l'alumine dans les bauxites et les latérites, de l'acide phosphorique dans les phosphorites, etc... C'est elle encore qui provoque les différenciations pétrographiques et stratigraphiques qui sont parfois si grandes, soit dans l'espace, soit dans le temps.

L'action prépondérante est en général facilement apparente. De même qu'en peinture une teinte frappante captive le regard, masquant à son profit celles qui la font ressortir. de même aussi ici, l'action prépondérante pourrait laisser croire qu'elle seule est en jeu, alors qu'elle n'est qu'une résultante : la teinte frappante du coloris.

Constants et puissants agents de l'érosion continentale superficielle, les phénomènes sidérolithiques se manifestent régulièrement, mais se réalisent diversement, parce que, tout en obéissant à des lois générales, ils subissent l'action de conditions influentes et de conditions restrictives qui fixent la physionomie des types et la caractérisation des groupes.

Les différents types sidérolithiques peuvent être assez facilement groupés en séries. On reconnaît alors des formes rudimentaires, ébauchées et aussi des formes plus complètes, achevées. Les produits de décalcification appartiennent aux premières ; le Sidérolithique proprement dit à bohnerz, les bauxites, les latérites, les phosphorites, au contraire, se placent plutôt parmi les secondes. Il y aurait ainsi, en quelque sorte, *un cycle sidérolithique*.

Quelque chose d'analogue peut également s'observer chez la plupart de chacun de ces types et sans parler de ceux qui ne font pas l'objet de ce travail, constatons simplement que les divers matériaux ferrugineux (bohnerz), alumino-siliceux (hupper, sables, argiles réfractaires ou bols) et les calcaires (raitsches et surtout les gompholithes de Daubrée) sont les termes principaux de la série.

Le problème qui se pose alors, revient à ceci : Qu'est-ce que le faciès sidérolithique et pourquoi ce faciès trahit-il dans

ses réalisations parfois si différenciées une variabilité aussi grande? En d'autres termes, nous sommes amenés à rechercher l'origine et le mode de formation des matériaux sidérolithiques.

Pour l'instant, il est impossible de formuler une définition. Si les caractères principaux du faciès sidérolithique sont nettement apparents, parfois très frappants, le faciès lui-même est plus mystérieux, plus complexe aussi et pour l'atteindre, il faut avant tout connaître les phénomènes sidérolithiques dont il est expression plus ou moins directe. Or ces phénomènes nous pouvons les étudier, les suivre même dans leur travail, observer leurs résultats. Il est dès lors rationnel de baser la définition du faciès sidérolithique sur l'observation des phénomènes que le déterminent et partant, de commencer ces recherches par l'étude de la nature, de la signification des phénomènes sidérolithiques eux-mêmes.

I. Nature des phénomènes sidérolithiques.

Partout où on les rencontre, les matériaux sidérolithiques apparaissent comme des produits de l'altération, de la transformation des roches. Les diluviums rouges, la terre rouge du Causse, la terra-rossa de la Carniole, la terre jaune des cavernes, les remplissages décalcifiés des puits naturels, l'argile à silex de Normandie, etc... sont incontestablement les résultats plus ou moins directs de l'altération superficielle continentale. Il est inutile, je crois, d'insister davantage : leur origine superficielle et par altération des roches est généralement admise aujourd'hui. La discussion porte presque exclusivement sur la tactique de leur mode de formation.

Les bauxites ou les wochénites et les latérites des régions tropicales qui n'ont été bien étudiées que durant la fin du siècle dernier, comme aussi les phosphorites, dont l'origine fut longtemps attribuée à des causes bien étranges sont également considérées comme des résultats particuliers de l'altération superficielle.

Précédemment, j'ai groupé toutes ces formations, cependant bien différentes, pour en faire des types sidérolithiques, voulant bien mettre en relief leur parenté originelle, sans méconnaître pour autant leur sériation. On ne saurait confondre une argile à silex constituée durant l'Eocène de résidus de roches crétaciques avec une terre jaune se formant aujourd'hui encore dans les grottes des terrains calcaires; la latérite moderne, riche en alumine (30-50 %) ne ressemble guère à un phosphorite éocène ou oligocène. Mais cependant, tout en admettant parfaitement la distinction des types, on peut aussi les rapprocher, puisque tous sont des produits d'altération continentale et par conséquent, la *sidérolification*, c'est-à-dire, l'action sidérolithique, consiste essentiellement en une altération, en une transformation des roches superficielles.

Mais alors, dira-t-on très justement d'ailleurs, pourquoi la sidérolification, qui semble devoir être une des formes courantes de l'érosion continentale, n'est-elle pas plus fréquente ?

Pour ma part, je crois que les altérations sidérolithiques sont excessivement fréquentes; mais bien souvent, nous ne savons pas les reconnaître, soit qu'elles sont à peine ébauchées et mal caractérisées, soit qu'elles diffèrent trop des formes ordinaires et connues. Des recherches méthodiques et précises le prouveront peut-être bientôt. Il n'y a pas si longtemps que l'on parle du sidérolithique rudimentaire et cependant la liste des produits que l'on peut en rapprocher est déjà bien longue.

Si l'on objecte que ces considérations sont purement hypothétiques, je ferai observer, et ceci reste vrai dans tous les cas, que les réalisations sidérolithiques sont fonctions des conditions influentes et des conditions restrictives, et que par suite, si elles font défaut, c'est que les conditions restrictives ont été plus puissantes que les conditions influentes: l'action prépondérante qui est la résultante de ces conditions étant alors nulle ou négative. Si l'on suppose au contraire, une action prépondérante positive, il faut nécessairement recon-

naitre la possibilité d'un nombre énorme de réalisations différentes, puisque cette résultante est dépendante de facteurs nombreux, très variables dans leurs manifestations individuelles.

Ces facteurs nous pouvons assez souvent les reconnaître : mais il ne saurait être question de les examiner sans avoir préalablement établi que la *sidérolithification consiste essentiellement en une altération superficielle des roches pour voie hydrochimique*.

Origine superficielle. L'origine superficielle des produits sidérolithiques paraît absolument démontrée et établie pour la plupart d'entre eux, notamment pour les produits de décalcification. L'argile à silex est le résidu de la dissolution de la craie : l'examen microscopique de ses sables et les fossiles qu'on y rencontre le prouvent. Bon nombre de matériaux sidérolithiques provenant de la décomposition des calcaires jurassiques et crétaciques du Jura contiennent des fossiles parfois non mélangés et il est facile de reconnaître que souvent ils appartiennent aux roches qui en forment le substratum. La latérite qui se forme actuellement dans les régions tropicales résulte d'une transformation sur place des roches silico-alumineuses et l'analyse chimique permet de reconnaître le passage des roches-mères aux produits d'altération.

Pour tous ces matériaux, la provenance superficielle semble absolument certaine. Les théories anciennement soutenues par Brongniart, Gressly, Thirria, Müller, Kœcklin et qui invoquaient une origine interne ne sauraient être admises. Elles ne s'appuient pas sur une base solide : les cratères et les crevasses éjectives par où seraient arrivées les émissions semi-plutoniques, boueuses ou hydrothermales n'ont jamais été rencontrés jusqu'ici, elles semblent hypothétiques. On ne saurait dès lors les admettre, ni surtout leur donner l'importance et la signification qui leur furent si longtemps attribuées. Les formations sidérolithiques sont bien trop fréquentes pour qu'il soit possible de les rapporter à des causes volcaniques ou geyseriennes nécessairement sporadiques et très localisées. Cela ne veut pas dire cependant, que les eaux souterraines, chaudes ou acides, n'ont pas contribué à la

sidérolification des roches ; bien au contraire même, je crois qu'il y aurait lieu de rechercher quel rôle elles ont pu jouer à ce point de vue et je ne serais aucunement surpris d'apprendre que certaines de leurs formations (dépôts, corrosions, incrustations, altérations) peuvent parfaitement se placer parmi les sidérolithiques. Ce que je veux surtout bien faire ressortir ici, c'est que les matériaux sidérolithiques résultent d'une altération superficielle réalisée *per descensum* et *in situ*, abstraction faite naturellement des phénomènes de transport et de remaniement qui ont pu se produire postérieurement.

Les altérations sidérolithiques. La sidérolification est le résultat du travail des eaux superficielles : elle se produit par voie hydrochimique.

Et d'abord, seule la dissolution accompagnée ou suivie de phénomènes chimiques divers peut produire des actions aussi générales et même aussi différenciées que celles que l'on constate partout où se sont manifestés les phénomènes sidérolithiques. La différenciation des résultats est la conséquence des luttes soutenues par les roches contre les eaux et elle en retrace les péripéties. L'argile à silex est un résidu de dissolution comme la plupart des produits de décalcification. On peut la reproduire en traitant par des solutions acides la craie ou les calcaires et d'une façon générale, l'expérimentation permet d'obtenir presque tous les types sidérolithiques.

Mais il y a plus encore, car es dernières études des explorateurs des régions tropicales établissent que *la latéritification* résulte de l'attaque des roches par des eaux chargées d'acide carbonique agissant sous des conditions climatiques spéciales. Malheureusement pour cette étude, je n'ai jamais eu l'occasion d'observer cette formation de près et je suis forcé de la signaler sans m'y arrêter.

Dans le Jura, les calcaires sont fréquemment altérés. Quiquerez déjà s'en était aperçu et il distinguait les altérations pâteuses, les altérations à aspect igné, les altérations dolomitiques, les altérations siliceuses ¹⁾).

¹⁾ A. QUIQUEREZ : *Recueil d'observations sur le terrain sidérolithique*, p. 8, 1852.

L'altération pâteuse indique une décomposition de la roche dont la coloration et la texture surtout sont modifiées. La roche devient farineuse ou gréseuse. Sur plusieurs échantillons de Kimmeridien altéré du Val de Moutier, j'ai pu observer que l'altération est dirigée par la composition chimique (solubilité variable) ou physique (fissures) des roches. Quiquerez prétend que cette altération ne modifie pas la composition des roches?... mais j'ai cependant constaté dans la plupart des cas, qu'elle indique un commencement de décalcification: la teneur des sels calcaires est diminuée. Par contre, les proportions de la silice et de l'alumine semblent être augmentées.

Les altérations à aspects ignés diffèrent considérablement des précédentes. Quiquerez les considérerait comme la preuve « d'une chaleur intense » qui aurait même provoqué « l'épigénisation des roches en fer hépatique ». L'observateur était esclave de ses croyances!... Le fer hépatique de ces altérations n'est que du sesquioxyde hydraté amorphe qui imprègne les roches ou qui les recouvre de coulées irrégulières, parfois mélangées de cristaux de calcite, mais qui n'ont rien d'igné.

Les altérations dolomitiques sont moins fréquentes que les précédentes. Quiquerez les décrit d'ailleurs assez vaguement. Elles sont cependant intéressantes, car si la roche montre une certaine altération, il s'agit d'une altération très spéciale qui consiste essentiellement en une imprégnation des éléments par des sels calcaires. Les cristallisations de calcite y sont très fréquentes. Assez souvent, ces altérations se rapprochent des altérations pâteuses, parfois aussi des altérations siliceuses.

Les altérations siliceuses sont avec les altérations pâteuses les plus fréquentes. Elles en diffèrent cependant complètement. Tandis que les premières visent la désagrégation des roches, par enlèvement des sels calcaires facilement solubles, les secondes au contraire tendent à leur consolidation par imprégnation des éléments plus ou moins désagrégés. L'imprégnation se fait par des précipitations de silice, comme dans le cas précédent elle se faisait par les sels calcaires.

Dans certains cas, ces altérations siliceuses aboutissent à une véritable jaspisation, rubanée ou zonée (jaspes de Candern en Brisgau, etc...).

D'une façon générale on peut conclure de ces observations que les altérations sidérolithiques résultent de deux actions contraires : désagrégation par dissolution, imprégnation par précipitation, c'est-à-dire, consolidation des roches. L'altération pâteuse n'est qu'une forme de la décalcification et c'est elle qui est générale et primordiale, car elle précède et détermine les autres, du moins en règle générale. Ces dernières sont plus apparentes, plus facilement reconnaissables sans doute, elles cachent même parfois complètement la décalcification ; mais en géologie, comme en biologie, il faut savoir reconnaître ce qui est masqué : il ne faut pas être victime de l'apparence.

Or, un examen attentif montre très nettement que la décalcification précède et surtout qu'elle est particulièrement intense. L'étude microscopique des roches peut souvent être utile, mais c'est surtout l'analyse chimique qui donne les meilleures indications, ainsi que l'on peut s'en rendre compte par les dosages qui suivent et qui portent sur des altérations du calcaire lithographique du Centre français ¹⁾.

	I	II		III		
	Calc. normal	Calc. peu altéré		Altérations		
Si O ₂ + Al ₂ O ₃	1,30	2,00	1,00	34,00	13,00	31,60
Ca O	52,40	54,50	54,30	20,60	46,60	28,00
Mg O	0,30	0,50	1,60	—	—	1,00
Fe ₂ O ₃	0,20	0,30	0,30	7,00	0,20	7,50
Perte au feu	45,50	42,60	42,60	—	—	—

¹⁾ Ces analyses faites au laboratoire de l'Ecole des mines de Paris sont indiquées par M. DE GROSSOURE : *B. S. Géol. de Fr.* 1881, et proviennent :

I. Calc. normal de St-Florent.

II. Calc. peu altéré de la Chapelle de St-Ursin.

III. Altérations diverses de ces calcaires.

Le calcaire lithographique est d'ordinaire très pur. Il renferme de 94 à 95 % de carbonate de chaux, 0,5 % de carbonate de magnésic et un résidu insoluble qui ne dépasse guère 1,5 %. Altéré au contraire, le pourcentage du résidu insoluble augmente et va jusqu'à 34 %, celui du fer peut atteindre 7,5, alors que sa teneur en chaux diminue sensiblement de 54 % à 20 %. Nous constatons donc bien ici ce double phénomène d'une décalcification, c'est-à-dire d'une démolition de la roche calcaire et d'une reconstruction de cette même roche par imprégnation de sels ferrugineux et siliceux. Nous avons des altérations silico-ferrugineuses très apparentes, mais aussi une réelle décalcification.

Les altérations sidérolithiques sont donc particulièrement complexes : elles ne sont pas un résultat quelconque d'une action isolée, mais elles traduisent au contraire un travail compliqué et variable, qui en règle générale comprend deux actions opposées : une démolition (par décalcification) et une reconstruction (par imprégnation).

La tactique de la sidérolification. Les altérations sidérolithiques qui viennent d'être étudiées ne sont que des ébauches inachevées de la sidérolification ; on peut les considérer assez justement comme des stades d'évolution des formes sidérolithiques. Partant, on a le droit de les utiliser pour reconstituer le processus qui les a formées.

La sidérolification étant une action régulière et constante de l'érosion continentale a nécessairement sa tactique, car, s'il en était autrement, elle ne poursuivrait pas un but déterminé et elle ne serait assujettie à aucune loi générale. Or, il est bien évident que les types sidérolithiques avec leurs formes rudimentaires sont les résultats en quelque sorte *forcés* d'une tactique. Sans doute, le jeu des forces sidérolithiques n'est pas enfermé dans une formule unique et absolue, il est peut-être même excessivement variable, mais en tout cas, on ne saurait soutenir qu'il soit indépendant de toute règle. La transformation des roches les plus diverses en bols à böhnerz, en bauxites, en latérites, en produits décalcifiés variés ne s'est pas faite d'une façon quelconque, car seul un processus

méthodique et réglé pouvait aboutir à des types sidérolithiques parents par leur faciès. La vieille école cataclysmienne avec ses théories plus séduisantes que fondées et les actualistes modernes n'ont jamais mis en doute la sidérolification ; toutes leurs discussions visaient son mode de réalisation. Les cataclysmiens avec Brongniart et Gressly, Thirria, Müller et Kœchlin faisaient venir les matériaux sidérolithiques des profondeurs terrestres : les actualistes au contraire, avec Dieulafait et M. van des Brœck les considèrent comme des formations superficielles et récusent les phénomènes d'origine interne, n'admettant comme agents de la sidérolification que les eaux météoriques. L'accord est unanime sur ce point, les divergences ne visent que des questions de détail. Je n'en discuterai pas, l'élève n'oserait prétendre faire la leçon aux maîtres, je préfère exposer simplement, tout en subissant cependant l'influence de ces maîtres, ce qui est mon opinion sur ce sujet.

L'eau pure agit très peu sur les roches : son pouvoir chimique est excessivement faible. Mais l'eau pure est très rare dans la nature : elle contient presque toujours à l'état de dissolution de l'oxygène et de l'acide carbonique qui sont les grands facteurs influents de son pouvoir chimique. Nous savons en effet, qu'une eau chargée d'acide carbonique dissout facilement les calcaires en les transformant en bicarbonates, qu'elle attaque et décompose à la température ordinaire les silicates de chaux, de soude, de potasse, d'oxyde ferreux, d'oxyde manganéux des roches non calcaires. Et si alors, on tient bien compte de ce fait, que l'eau de pluie renferme toujours de l'acide carbonique qu'elle enlève à l'air ¹⁾ et qu'elle peut encore en dissoudre dans le sol en filtrant sur des matières organiques, il est facile de comprendre que les roches superficielles soient fortement attaquées et altérées.

¹⁾ D'après Pélégot, un litre d'eau de pluie renfermerait 25 cm³ de gaz dissous pouvant se répartir ainsi : 31,20 % d'oxygène et 2,40 % d'acide carbonique (Consulter : DE LAPPARENT : *Traité de géologie*, p. 320, 1906).

De là ces nombreux phénomènes bien connus aujourd'hui d'hydratation et d'oxydation, qui se manifestent et qui se réalisent plus ou moins complètement partout où la roche est en contact avec l'eau.

L'eau est, en effet, l'ennemie inconciliable de la roche, qu'elle poursuit partout, tantôt ouvertement et brutalement, tantôt au contraire sournoisement, dissimulée et cachée. La sidérolitification est précisément la dernière phase de cette lutte universelle de ces deux éléments qui a si puissamment contribué au modelage du relief terrestre. Presque toujours la roche est vaincue, parce que l'eau sait tirer parti de toutes les circonstances qui peuvent lui être favorables et surtout parce qu'elle sait varier ses attaques et les adapter aux difficultés à surmonter : elle fait preuve, dans son travail ininterrompu, d'un art, d'une intelligence que nous ne sommes guère habitués à reconnaître aux forces naturelles, ces énergies vitales d'un règne trop profondément séparé peut être du monde biologique !

La sidérolitification commence toujours par une corrosion, par une dissolution. Les sels facilement solubles sont les premiers entraînés, les autres au contraire, plus ou moins altérés sont de ce fait, concentrés, accumulés. Il y a deux actions simultanées : un appauvrissement de la roche par enlèvement d'éléments solubles et un hydrométamorphisme des résidus. La dolomitisation des calcaires, les altérations dolomitiques, sidérolithiques résultent de la concentration des carbonates de magnésie, conséquence de l'enlèvement des sels de chaux très solubles et de l'altération chimique des sels de fer, etc... qui n'ont pu être dissous. L'altération pâteuse, dont il a été question plus haut, consiste de même en une décalcification des calcaires et en une transformation chimique plus ou moins profonde des résidus. *Les roches-mères se transforment en produits sidérolithiques par enlèvement de certains éléments qui disparaissent plus ou moins complètement et par transformation chimique de ceux qui ont échappé à la dissolution.*

Mais il y a plus encore, les eaux qui se sont chargées de sels par dissolution peuvent encore les précipiter et par

suite consolider les roches qu'elles viennent de désagréger. En outre, dans ce travail essentiellement chimique, les sels de fer des roches sont toujours superoxydés. Par suite, les nouvelles roches diffèrent profondément de celles qui ont servi à les constituer : leur composition chimique indique un appauvrissement en certains sels et un enrichissement en d'autres ; leur texture est modifiée : de compacte qu'elle était primitivement, elle devient arénacée, gréseuse, concrétionnée. Et surtout, les résultats de ce travail sont très différenciés, parce qu'ils sont les expressions des résistances des roches à l'action des eaux. Ils sont bien les réalisations d'une tactique générale, mais d'une tactique qui a dû surmonter des difficultés infiniment variées et variables et qui ne s'est pas poursuivie d'une façon absolument régulière, mais qui a varié souvent et énormément dans ses intensités et qui a parfois travaillé par à coup répétés.

Nous avons une preuve de la constance générale de cette tactique dans la formation des latérites qui proviennent d'un métamorphisme hydrochimique des roches silico-alumineuses. Des dernières études publiées sur ce sujet ¹⁾, nous avons le droit de considérer la latérisation comme une *sidérolification des roches silico-alumineuses* (diabases, ophite, phyllade, etc...). Les analyses chimiques qui ont été faites des roches-mères et de leurs latérites montrent en effet que la chaux, la potasse, la soude et une bonne partie de la silice sont enlevées par les eaux, tandis que les proportions du fer, de l'alumine et du titane sont considérablement augmentées. Le départ de la silice et son passage à l'état de silice libre, soluble dans les acides, sont, dans la latérisation, l'homologue de la décalcification dans la sidérolification des roches calcaires.

¹⁾ MM. P. LEMOINE et J. CHAUTTARD ont publié une excellente étude sur la latérisation *B. S. G. Fr.*, p. 35, VIII. 1908). Je n'ai malheureusement pas pu l'utiliser pour ce travail. Ces auteurs montrent que dans la latérisation la silice passe de 48 à 5 %, que l'alumine va de 14 à 34 % et le fer de 9 à 20 %, ce qui confirme ce que l'on savait déjà de ces roches, par les études antérieures.

La sidérolification peut donc bien être considérée comme une altération des roches par voie hydrochimique, *altération qui se réalise par deux actions principales et constantes : dissolution de certains éléments et concentration des autres, qui, s'ils ont échappé à la dissolution, ont cependant subi une certaine transformation*. Les matériaux sidérolithiques proviennent de ce travail; ils sont des résidus transformés de leurs roches-mères, mais ils ne sont pas encore bien individualisés. S'ils proviennent des roches calcaires, ce sont des produits de décalcification; si au contraire, ils sont produits par des roches silico-alumineuses, ce sont des latérites. Mais sous cette forme, ils ne sont qu'à leur période de jeunesse, ils doivent subir encore une longue et profonde évolution pour atteindre la forme adulte, non définitive, mais mieux individualisée ¹⁾.

La sériation des types sidérolithiques. Bien que dus à un même processus générale, les types sidérolithiques sont cependant distincts: on ne saurait les confondre, à moins de méconnaître complètement leurs caractères pétrographiques et leur composition chimique. Ils ont certains caractères communs, qui se retrouvent presque toujours et qui forment précisément leur *faciès*, comme par exemple, leur pauvreté en chaux et en terres alcalines et l'oxydation très grande de leurs sels de fer. Leur différenciation tient surtout à l'importance, que prend dans quelques cas, un de leurs éléments. Cet élément, ce sera, par exemple, l'acide phosphorique pour les phosphorites et les phosphates, le sesquioxyde de fer hydraté pour les bols, l'alumine pour les bauxites et les latérites. Chez les produits de simple décalcification, le fait est moins frappant, probablement parce que ces produits ne sont pas complets, ils ne sont que des ébauches.

Il y a donc bien là une sériation, qui prend l'aspect d'une sédimentation fractionnée, mais qui, en réalité, tient tout simplement à ce fait, que *des produits de provenances di-*

¹⁾ Ces considérations font penser aux *hybrides* et aux *influences ancestrales*!

verses et d'âges différents sont rapprochés. L'altération d'une roche silico-alumineuse, ne saurait aboutir au même résultat que celle de la craie ou d'un calcaire. Les roches-mères sont différentes, leurs produits d'altération ne sauraient être identiques. L'altération des roches ne se réalise pas toujours avec la même intensité, ni même pendant le même moment : il y a par suite nécessairement des sidérolithiques plus ou moins complets et d'âges différents. La latérite qui se forme actuellement de la décomposition des roches silico-alumineuses sous un climat chaud et humide ne saurait être confondue ni avec la terra-rossa de la Carniole, ni avec la terre jaune de nos cavernes, ni avec la terre rouge des Causses et encore moins avec les bols à bohnerz qui se sont constitués durant le tertiaire. Vouloir absolument forcer le rapprochement de ces produits, c'est méconnaître leur origine, leurs caractères ancestraux, leur âge et surtout leur évolution. On peut donner bien des causes à la différenciation des sidérolithiques, je n'en connais aucune de plus générale et de plus importante que celles de leur origine et de leur âge. En d'autres termes, pour se rendre bien compte de la signification de ces différenciations, il faut, me semble-t-il, rechercher pour chaque type les *caractères originaux* fixés par une sorte d'hérédité et les *caractères acquis* apportés plus tard, car, de même que les êtres vivants, les types sidérolithiques ont une naissance et une évolution qui comprend des périodes ou des âges de jeunesse, de maturité et de sénilité ¹⁾.

Tous les types sidérolithiques ne présentent naturellement pas tous ces caractères. Les uns, comme par exemple, les produits de décalcification et les latérites actuelles sont très jeunes et à peine ébauchés : nous pouvons observer et suivre leur formation. Les phosphorites, les bols à bohnerz par contre, sont plus âgés. Leur période de jeunesse est de-

¹⁾ Consulter sur ce sujet à propos des formes du relief terrestre l'excellente étude du prof. W. D. DAVIS dans le *Géographical Journal*, Londres, nov. 1899.

puis longtemps terminée et ils ne sont pas loin peut-être d'atteindre leur vieillesse. Dans ce cas, il y aurait eu deux grandes périodes tout au moins : une première période pendant laquelle les bols se sont formés par altération de la roche, comme le font aujourd'hui les latérites, et une seconde période, caractérisée par des remaniements, des transformations qui ont fixé le faciès sidérolithique actuel. Cette distinction qui pourrait paraître subtile, se justifie cependant facilement par ce qui a été dit plus haut des *caractères originaux* et des *caractères acquis*.

Dans le cas du Sidérolithique proprement dit, les altérations pâteuses, siliceuses, ferrugineuses, dolomitiques sont en fait peu différentes de leurs roches-mères : on peut facilement les en rapprocher : les caractères originaux, ancestraux, sont encore très apparents. S'il n'en est plus de même pour les bols et les bohrerz, qui sont déjà individualisés, si individualisés même, que pendant de longues années on n'a pas supposé qu'ils provenaient, comme les altérations citées plus haut, des calcaires jurassiques et crétaciques, *c'est que les caractères acquis masquent les caractères originaux*.

Et ainsi, *par une tactique générale, constante dans ses grandes actions, la sidérolification conduit à des produits très comparables par leur faciès, mais en principe, différenciés cependant par leurs caractères originaux. Ces produits sont le résultat direct de l'altération des roches et leur faciès est essentiellement caractérisé par leur pauvreté en éléments alcalins et alcalino-terreux et par l'oxydation très grande de leurs sels métalliques.*

Plus tard alors, par une série de transformations variées, chimiques et même mécaniques, ces matériaux évolueront, en même temps que leur faciès général se précisera et s'orientera, pour aboutir aux divers faciès dérivés des types sidérolithiques.

Le Sidérolithique proprement dit, tel qu'il se présente aujourd'hui, stratifié ou non stratifié, en place ou remanié, tout en gardant les caractères originaux du faciès général est cependant individualisé : c'est un type sidérolithique dérivé,

évolué et transformé. Sa complexité résulte précisément de son évolution : les caractères acquis sont superposés aux caractères originaux. Bien plus, les caractères originaux se sont atténués pendant cette évolution des matériaux ; ils ont été *subordonnés* par les caractères acquis qui sont devenus les *caractères dominateurs*.

Ces faits sont importants. Ils expliquent et justifient la complexité et même l'individualisation des produits du Sidérolithique proprement dit et par suite leur grande différenciation d'avec les roches dont ils dérivent.

II. Formation du Sidérolithique proprement dit.

Les matériaux du Sidérolithique proprement dit sont incontestablement d'origine superficielle :

1. Les altérations sidérolithiques qui accompagnent en règles générales les dépôts de bols et de bohrerz, étant des ébauches de la sidérolification, montrent le passage des roches-mères à leurs produits altérés.

2. Les fossiles que l'on retrouve parfois dans les produits altérés établissent à l'évidence le même fait.

3. L'observation ne saurait admettre une provenance interne de ces matériaux et il est absolument impossible de partager les opinions des cataclysmiens, Brongniart et Gressly, pour ne citer que les principaux, sans tomber en pleine hypothèse.

En second lieu, on a le droit d'admettre que les produits et les matériaux du Sidérolithique proprement dit, si divers, si variés soient-ils, résultent d'une altération des roches calcaires par voie hydrochimique, de la même façon que les latérites des régions tropicales, ou que les altérations sidérolithiques dites pâteuses, siliceuses, ferrugineuses et dolomiques.

Si le fait n'est pas absolument démontré, il est du moins vraisemblable et je crois pouvoir le soutenir en l'appuyant sur un certain nombre de considérations qui sont avant tout tirées de l'observation pure.

Et d'abord, il semble que la Sidérolithique proprement dit, sous son aspect actuel, avec son faciès actuel, diffère profondément de ce qu'il dût être au début: il y a eu une évolution importante, pendant laquelle les caractères originaux ont été *subordonnés* par les caractères acquis qui sont devenus *dominateurs* et qui ont fixé sa physionomie actuelle. Pour ce motif, je crois indispensable de distinguer, dans les formations du Sidérolithique proprement dit, deux phases successives :

a. Une phase *d'élaboration*, pendant laquelle les roches superficielles, exposés aux actions des agents météoriques, ont été altérées par un travail d'érosion comparable à celui qui transforme actuellement les roches des régions tropicales en latérites. En raison de l'analogie du processus de formation des matériaux sidérolithiques et des laterites, j'appelle cette phase d'élaboration et de jeunesse: *la phase de la latérite*.

β. Une phase *d'évolution*, pendant laquelle la latérite primitive s'est transformée, s'est stratifiée et individualisée pour aboutir au type sidérolithique actuel. Cette phase qui a dû être très longue, qui a succédé à la précédente, mais sans qu'il soit possible de fixer la démarcation entre les deux, je l'appelle, la phase *sidérolithique proprement dite*.

Phase de la latérite. La latérite est une roche récente: elle se forme actuellement et on peut observer ses formations par décomposition et par altération des roches silico-alumineuses des régions tropicales ou sub-tropicales surtout. Son individualisation comme type sidérolithique résulte particulièrement de sa composition pétrographique et chimique: Max Bauer déjà fit observer qu'elle est caractérisée par la présence de l'alumine libre hydratée ¹⁾. Nous n'avons cependant pas de motif pour en être surpris, puisqu'il s'agit ici d'un produit d'altération des roches silico-alumineuses, déjà riches en alumine combiné.

Ce caractère, qui a son importance, ne saurait cepen-

¹⁾ MAX BAUER: *Neues Jahrb.* (1898 II), p. 163.

dant empêcher la latérite d'être un produit de la sidérolification générale. Elle a en effet, tous les caractères des sidérolithiques et elle résulte d'un travail sidérolithique effectué par dissolution des sels solubles de chaux, de magnésie, de soude, de potasse et même de la silice des roches-mères et par concentration ou augmentation des sels de fer, d'alumine et de titane. De plus, toutes ces transformations, si complexes, sont dues aux eaux météoriques. Les eaux souterraines, que l'on pourrait parfois évoquer comme agents de la sidérolification générale et qui semblent même y contribuer, mais sporadiquement et localement, semblent absolument étrangères à la latérisation.

La tactique générale de la latérisation est assez bien connue aujourd'hui. S'il y a des réserves à faire, c'est au sujet de certaines actions de détail, sans doute non négligeables, mais qui, dans le cas, sont cependant secondaires. Les géologues-explorateurs, qui ont spécialement étudié ces formations, sont, en général, d'accord, pour reconnaître que *les grandes conditions influentes de la latérisation sont d'ordre climatique : température élevée, précipitations atmosphériques abondantes et saisonnières*. L'acide azotique des eaux de pluie des régions chaudes, la pauvreté en humus du sol ¹⁾, certains microorganismes paraissent également jouer un rôle influent, mais pour l'instant nos connaissances ne permettent pas de le fixer et de le reconnaître. N'ayant jamais eu la bonne fortune d'étudier les latérites, en place, je ne saurais en tout cas prendre part à la discussion sur ce sujet. La question n'a d'ailleurs pas une importance capitale pour ces études : l'essentiel est de savoir pourquoi et comment la latérisation se produit et cela on le sait : *la latérisation est la sidérolification des pays chauds, tropicaux et subtropicaux* : elle se réalise par des dissolutions, des oxydations et des hydratations. Le travail chimique des eaux est assez bien connu ; par contre, l'action biologique, qui s'y superpose, reste énigmatique, je crois.

¹⁾ Les matières organiques sont détruites par les termites.

Le faciès de la latérite qui est incontestablement caractérisé, mais pas fixé, puisque cette formation est à son stade d'élaboration et de jeunesse, qu'elle conserve bien apparents ses caractères originaux, est *un faciès géographique*, en ce sens, que toute latérite évoque, très nettement, des conditions climatiques spéciales, nécessaires et, comme tel, il est tout particulièrement intéressant pour ces études.

A priori, il peut sembler étrange que l'on rapproche le Sidérolithique proprement dit et les latérites et cependant, ce rapprochement est parfaitement rationnel. La différence de composition des matériaux de ces formations s'explique, comme je l'ai fait observer déjà, par leur provenance de roches-mères différentes : des roches-mères calcaires pour le Sidérolithique, des roches-mères non calcaires, silico-alumineuses pour les latérites. La différence des faciès qui est cependant très nette, s'explique de même par le seul fait que ces formations ne sont pas du même stade d'évolution, qu'elles n'ont pas le même âge.

Les derniers travaux des paléontologistes, et ceux de M. H. G. Stehlin font loi ici : ils établissent que pendant le tertiaire, il y eut, en Europe, une grande période sidérolithique : les diverses faunes des époques éocènes et même oligocènes qui ont été recueillies dans les bols et les phosphorites en sont la preuve. L'existence d'une période sidérolithique tertiaire est hors de doute, ce qui est moins certain, par contre, c'est sa durée et sur ce point, la paléontologie ne fournit aucune indication absolument précise. L'absence des faunes plus anciennes que l'Yprésien, ne prouve absolument pas que la période a commencé à l'époque yprésienne ? Je crois même qu'elle a commencé bien plus tôt, sur la fin des temps crétaciques peut-être déjà ¹⁾.

Les temps de la fin du secondaire et ceux de la première moitié du tertiaire furent caractérisés par des conditions climatiques très spéciales et assez bien connues aujourd'hui.

¹⁾ Voir tableau D.

« Au moment où s'ouvre la période éocène, dit M. de Lapparent ¹⁾, le climat de l'Europe est tempéré plutôt que très chaud; l'hiver est encore nul ou presque nul et la végétation continentale ne paraît pas éprouver des variations sensibles entre le 40° et le 60° degré de latitude. Mais bientôt, tandis que la plus grande partie de l'Europe, antérieurement submergée par la mer de la craie, devient définitivement terre ferme, les régions méditerranéennes, entre les Pyrénées et l'Atlas d'un côté, entre les Carpathes et le désert libyque de l'autre, s'accidentent de longs sillons où pénètre la mer nummulitique. Sous l'influence de cette mer chaude, dépassant le tropique vers le sud, l'Europe revêt une physionomie africaine. Il s'y établit un régime de saisons sèches et brûlantes, qui alternent avec des saisons pluvieuses et tempérées, la moyenne annuelle se maintenant à environ 25° sous la latitude de Provence.... »

Le climat de ces époques n'a plus comme comparable aujourd'hui que celui des régions tropicales ou subtropicales surtout où se forment actuellement les latérites. Précédemment, j'ai essayé de montrer que la latérisation actuelle était étroitement liée aux conditions climatiques : température élevée, précipitation abondante, régime saisonnier, conditions qui paraissent communes aux climats de nos régions subtropicales et à ceux des époques de la période sidérolithique primitive. De cette analogie, je crois pouvoir conclure :

1. *L'élaboration des matériaux du Sidérolithique proprement dit s'est faite par la latérisation des roches calcaires.*

2. *Le Sidérolithique proprement dit actuel n'est qu'une ancienne latérite, transformée et évoluée.*

La latérite primitive a dû se produire et se constituer de la même manière que les latérites actuelles. La température élevée, l'abondance des précipitations atmosphériques et surtout le régime des saisons chaudes et sèches, tempérées et humides furent ses facteurs influents principaux. Par suite,

¹⁾ A. C. LAPPARENT : *Traité de géologie*, p. 1483. 1906.

on peut admettre que la latérisation du Sidérolithique proprement dit a commencé dès que ces conditions climatériques furent établies, donc bien avant les temps yprésiens et et probablement pendant la fin des temps crétaciques. Pour ma part, je crois que le commencement de la latérisation a dû être fixé par le retrait de la mer de la Craie et que dès l'époque aturienne tout au moins, les calcaires crétaciques et jurassiques superficiels n'ont cessé, jusqu'à aujourd'hui, d'être altérés et latérisés. Et, comme la mer de la Craie s'est retirée progressivement pendant une bonne partie des temps crétaciques, que certaines régions ont été émergées bien avant d'autres, cette latérisation n'a pas pu commencer partout au même moment.

Le résultat de la latérisation fut l'élaboration des matériaux du Sidérolithique proprement dit, c'est-à-dire, d'une latérite primitive qui devait ressembler beaucoup aux produits de décalcification et aux altérations sidérolithiques ordinaires. La nouvelle roche était pauvre en sels calcaires, très décalcifiée, mais riche en produits insolubles silico-alumineux et aussi en oxyde de fer hydraté. Les bohrerz n'existaient pas : tout au plus, y avait-il des concrétions ferrugineuses analogues aux minerais de fer superficiel. Les altérations des calcaires du substratum immédiat des dépôts sidérolithiques, que j'ai considérées comme des ébauches inachevées, pourraient peut-être nous en donner une assez juste idée.

Phase du Sidérolithique proprement dit. Cette latérisation des roches couvrit bien vite le sol d'une couche régulière de matériaux altérés. Les roches primitivement superficielles formèrent ainsi le sous-sol, tout en restant cependant soumises à la latérisation qui pouvait se poursuivre en profondeur, grâce à la perméabilité de leur recouvrement. Mais alors, tandis que ce travail se poursuivait en profondeur ¹⁾, les eaux météoriques attaquaient en même temps la latérite déjà formée. Il y eut ainsi un double travail d'altération

¹⁾ L'épaisseur des latérites actuelles dépasse parfois cent mètres.

directe des roches et de transformation des produits altérés. Le premier est la continuation de la latérisation, le second par contre, et c'est ce qui caractérise les phases de la sidérolification, est une *remise en marche* de la latérite primitive. Il n'y a donc pas de séparation nette entre les deux phases : la latérisation a précédé la sidérolification, mais toutes deux ont pu et même ont dû se poursuivre simultanément.

L'agent de la sidérolification est toujours l'eau météorique. Mais ici, il n'y a plus de grandes actions de dissolution, de démolition : la latérite est déjà un produit décalcifié et ses matériaux sont en quelque sorte des résidus de dissolution. Les sels de fer sont peut-être les éléments qui subissent la principale action chimique. Les autres éléments sont bien moins transformés, ils sont simplement déplacés.

La tactique de la sidérolification est assez spéciale : elle comprend des actions chimiques et des actions mécaniques. En filtrant au travers de la latérite, les eaux météoriques ont entraîné mécaniquement en profondeur, les particules les plus fines, les plus ténues, qu'elles ont accumulées en zones, en couches. En même temps, elles ont attaqué chimiquement les matériaux qu'elles léviguaient. L'entraînement mécanique a conduit à la stratification des dépôts, la précipitation des sels dissous a amené de même une concentration chimique.

M. van den Brœck, dans son étude sur l'*altération des dépôts superficiels*, a donné le principe de ces transformations. Les apparences de ravinement, la séparation de certaines zones à coloration particulière s'expliquent parfaitement par des infiltrations superficielles. Sans doute, le détail de toutes les transformations qui se sont produites nous échappe : il y a bien des points sur lesquels il est actuellement impossible de se prononcer. Pour l'ensemble, par contre, je crois que le remaniement mécanique par les eaux de surface en infiltration et le métamorphisme hydro-chimique, peuvent fournir une explication suffisante.

Comme application de ces considérations que l'on pourrait croire exclusivement hypothétiques, je vais étudier quelques cas particuliers du Sidérolithique proprement dit.

Les bohnerz. Plusieurs auteurs ont rapproché la formation des bohnerz de celle de dragées calcaires ou siliceuses de Carlsbad, de Tivoli, etc.... ou de celle des oolithes des roches sédimentaires. On a parlé aussi de l'importance que pouvait avoir joué cette concentration des sels autour d'un noyau formé de matières organiques.

L'étude des pisolithes de fer montre très nettement que leur noyau est formé par une matière amorphe, groupée sur un squelette siliceux ou autour d'un grain de sable. Les débris organiques, spicules, fragments de test de coquille, y sont excessivement rares. Les couches disposées concentriquement autour du noyau, sont de même constituées par un squelette siliceux. Leur épaisseur est en général assez constante. Leur surface est brillante et polie. Dans certains cas, les différentes couches peuvent se séparer assez facilement, mais ordinairement, elles sont étroitement soudées entre elles.

Je considère les bohnerz comme résultant directement de la sidérolification. Pendant la latérisation des roches calcaires, il a dû se former de petites masses celluleuses, résultant d'une concentration des sels siliceux et surtout ferrugineux sur une particule organique ou calcaire. Dans la suite, ces débris ont disparu probablement par pseudomorphose, par suite d'une décalcification à outrance, mais les cellules se sont conservées et sont devenues les noyaux des pisolithes, qui se sont formées par simple concentration. Les sels de fer des pisolithes sont mélangés à la silice, parce que, dans leur action dissolvante, les eaux d'infiltration ont attaqué également cette dernière substance et l'ont entraînée avec le fer. La disposition des couches autour du noyau résulterait de cette précipitation. On peut assez facilement les reproduire en faisant couler lentement sur des noyaux amorphes des solutions concentrées ayant la composition des bohnerz, auxquelles on ajoute quelques traces d'arsenic.

Un travail analogue se serait produit dans la latérite en voie de sidérolification : les eaux d'infiltration ayant enlevé de sels de fer avec un peu de silice et ayant atteint le degré voulu de saturation auraient précipité leurs sels dis-

sous sur les noyaux, c'est-à-dire, sur les cellules de la latérite. La précipitation ne se serait produite qu'une fois ce degré de saturation atteint. Et alors, le travail étant divisé, la précipitation se serait nécessairement faite en couches et en zones. Dans ce cas, les dispositions en couches concentriques de l'enveloppe de la pisolithe s'explique très facilement et le brillant de la surface de la pisolithe ou de celle de ses couches, peut se comprendre par le polissage effectué par les eaux en circulation lente au travers d'une roche assez meuble.

La structure radiaire des couches concentriques de l'enveloppe des pisolithes et leurs cavités, en batonnets, que Bleicher attribuait à des empreintes de bactéries et que ne sont probablement que des formes de retrait, l'épaisseur assez constante des couches concentriques, l'amoncellement des pisolithes dans certaines parties du gisement, les agglomérats sidérolithiques qui sont des pseudo-pisolithes dont le noyau est formé de pisolithes accolées, peuvent parfaitement s'expliquer par ce processus.

Les concrétions amorphes, irrégulières, en coulées ou en masses, proviennent, par contre, d'une précipitation chimique, effectuée sur des matériaux que l'eau ne pouvait déplacer.

La formation des bohnerz n'a dû se faire que sur la fin de la sidérolification, la stratification des matériaux étant déjà bien dessinée.

Enfin, l'invasion des mers mollassiques qui mit fin à la sidérolification, par la suppression des actions météoriques, amena en même temps le tassement de la masse. Les pisolithes furent emprisonnées dans les bols encore imprégnés d'eau d'infiltration. La sidérolification fit encore un dernier effort cependant, et nous en avons la trace dans ces zones que les mineurs appellent « fleur » et qui délimitent la couche des bohnerz ou dans les taches (œils des mineurs) des bols. Les sels de fer furent complètement enlevés et concentrés sur les pisolithes, et les bols ayant perdu tous leurs éléments ferrugineux, passèrent au silicate d'alumine.

Les bols. Ce sont des argiles ferrugineuses, de composition variable, toujours très ferrugineuses, qui représentent

le résidu de la latérisation des calcaires. On les reproduit assez facilement en attaquant les calcaires par des acides.

Leur coloration est due aux sels métalliques, surtout au sesquioxyde de fer hydraté, qui joue un rôle variable suivant son degré d'oxydation et d'hydratation.

Leur arrangement en couches de composition et d'aspect différenciés, résulte de la sidérolification, c'est-à-dire de la lévigation exécutée de haut en bas, sur la latérite primitive. Dans quelques cas, la lévigation mécanique a été entravée et les éléments entraînés, par suite d'une sorte de filtration, se sont déposés en couches distinctes, caractérisées par la grosseur des particules. Les plus grosses ont été arrêtées les premières, les plus fines ont pu passer à travers. (Fig. 10, Pl. II).

Assez souvent aussi, la stratification n'est qu'apparente. Les couches sont simplement différenciées par leur coloration, fait très fréquent dans les dépôts meubles et bien étudié par M. van den Brœck.

La formation des couches de bols alumineux et semi-plastiques qui s'intercalent parfois dans les bols ordinaires ne peut s'expliquer que par une nappe d'eau, qui a agi sur une couche de bols, l'imprégnant assez fortement pour en enlever non seulement les sels métalliques, mais encore la majeure partie de la silice. Ce travail n'a dû se produire qu'après la sidérolification, la stratification des couches étant déjà établie. Les lentilles ou les trainées de « fløetz » que l'on rencontre parfois, sont probablement dûes à un même processus.

Enfin, la disposition des couches en lentilles imbriquées et superposées, peut s'expliquer par les actions combinées d'une lévigation *per descensum* et d'une imprégnation après coup, par les eaux de nappes, filtrant dans la masse des matériaux, ou en suivant les couches.

Les sables siliceux. Ils forment la majeure partie des bols, soit libres, soit sous forme de silicate d'alumine, mais toujours colorés superficiellement par les sels métalliques. Leur accumulation en couches ou en amas, témoigne d'une lévigation intense, qui n'a laissé des bols que leur éléments silico-alumineux.

Les couches de sables intercalées dans les bols réguliers résultent d'un travail analogue à celui qui a formé les couches du bol semi-plastique, à cette différence près cependant que la dissolution a été moins puissante : les éléments silico-alumineux sont simplement restés en place.

Très souvent aussi, les sables siliceux forment, à la base des bols, des assises régulières, qui remplacent les bolnerz. Cette position, qui est manifestement anormale, peut cependant s'expliquer par le même processus. Les eaux d'infiltration, en circulation lente, entre le calcaire du substratum sidérolithique et les bols inférieurs, ont levigüé les couches qu'elles traversaient, n'en laissant que les sables, c'est-à-dire, les éléments insolubles ou difficilement solubles (silice, alumine). Ce travail qui a pu commencer dès que la stratification des assises sidérolithiques fut bien dessinée, n'a dû cependant se réaliser dans toute son intensité que longtemps après. En effet, si on peut assez facilement l'attribuer à une infiltration normale, dont les eaux auraient agi déjà sur les assises supérieures, on peut aussi le considérer comme résultant d'une lévigation puissante par des venues d'eau accidentelles. L'action des sources ne saurait être absolument niée, cependant, je persiste à croire que le principal agent est encore l'eau météorique, qui a pu facilement s'infiltrer, comme il vient d'être dit, par suite de la discontinuité de la couverture sidérolithique usée par l'érosion et l'abrasion.

Les grands remplissages de sables dans des poches immenses ou simplement dans des crevasses, qui sont actuellement à fleur de sol et à découvert, sont, en règle générale, les racines d'anciennes nappes aujourd'hui enlevées et ils ont dû se produire selon le même processus. Les bols que les recouvrent parfois, sont simplement les assises inférieures du Sidérolithique primitif, normalement stratifié ¹⁾. (V. Pl. I).

¹⁾ L'altération superficielle récente est également entrée en jeu. C'est à elle que j'attribue la coloration des sables, la formation des veinules, des serpules, des concrétions d'alumine, des grès que l'on rencontre, par exemple, dans les grandes poches de sables de Moutier. Elle n'est peut être pas complètement étrangère à celle des quartzites, des jaspes, etc...

On objectera peut-être, qu'une semblable lévigation suppose des masses d'eau considérables et par suite une véritable circulation souterraine? D'abord, la circulation souterraine a dû se faire lentement et par filtration goutte à goutte: les matériaux n'ont pas été entraînés, mais seulement lévигés, seuls certains éléments ont été enlevés par dissolution. Ensuite, les régions dénudées par l'enlèvement de la couverture sidérolithique sont devenues des sortes de bassins de réception des eaux météoriques, dont l'infiltration était favorisée par la discontinuité même de la couverture.

Mais, dira-t-on encore, que sont devenues ces eaux, après leur grand travail de lévigation souterraine?

Plusieurs hypothèses sont possibles. Les eaux, par le fait de leur circulation entre deux couches assez peu perméables, ont pu obéir à une succion vers des thalwegs ou des régions moins élevées? Elles ont pu aussi, par siphonage, parcourir d'assez longs trajets souterrains et sur leur parcours, contribuer à l'agrandissement des poches et des excavations du substratum par décalcification de la roche? Enfin, les calcaires ne sont pas si compacts qu'il ne s'y trouve des fissures, des cassures, qui peuvent devenir des issues?

Les calcaires et les conglomérats. Ces formations n'appartiennent qu'indirectement au Sidérolithique proprement dit, en ce sens, qu'elles proviennent d'actions étrangères à la sidérolification.

Les calcaires lacustres sidérolithiques ou raitsches sont des formations géologiques normales et régulières. Ils intéressent le Sidérolithique exclusivement à cause de leur position stratigraphique. Leurs matériaux proviennent peut-être des roches latérisées? Les pisolithes qu'on y rencontre parfois y ont été probablement apportées par le ruissellement. Ils sont aujourd'hui assez mal représentés et n'ont naturellement entre eux aucun synchronisme général précis. Leur dissémination actuelle en lambeaux isolés, ne représente sans doute que très imparfaitement leur répartition première, qui tout en étant plus régulière, était cependant déjà sporadique et localisée.

Les conglomérats proviennent surtout de remaniements mécaniques par les eaux des matériaux sidérolithiques dans des roches d'autres formations géologiques. Comme les calcaires d'eau douce, ils sont nécessairement d'âges différents. Ils ont pu se former déjà à la fin de la latérisation; mais en général, ils sont plus jeunes. Les bols y sont rarement conservés, sauf dans le cas des brèches de la région vaudoise, mais les *bohnerz* par contre y sont très fréquents. Peut-être pourrait-on considérer les *bohnerz* amorphes, sans structure feuilletée de certains conglomérats, comme provenant directement de la latérite primitive?

Les conglomérats sont tantôt compacts et solides, leurs galets sont fortement cimentés entre eux, ou tantôt, ils consistent simplement en une grossière accumulation de matériaux roulés et altérés. Dans ce dernier cas, ils ont beaucoup d'analogie avec certains remplissages ossifères.

Les *impressions* que présentent parfois les galets de ces roches sont probablement dûes à des phénomènes hydrochimiques ayant produit par dissolution ce que Quiquerez appelait « une altération pâteuse ». La dureté des roches ne joue ici qu'un rôle secondaire, car c'est leur insolubilité qui est le facteur influent par excellence.

Telle qu'elle vient d'être exposée, cette théorie de la sidérolification me paraît soutenable. Elle n'est d'ailleurs pas absolument personnelle et on y reconnaîtra facilement des influences étrangères. Elle n'est pas démontrée non plus, c'est une simple hypothèse, mais une hypothèse qui s'appuie cependant sur un nombre important de faits observés et souvent vérifiés par l'expérimentation. On pourra lui faire des objections et j'en prévois même déjà quelques unes. Des recherches complémentaires me permettront de la préciser et peut-être même de la corriger.

On me reprochera peut-être aussi de n'avoir pas suffisamment réfuté les hypothèses proposées par mes devanciers! Je l'ai fait à dessin, ne voulant pas attaquer ceux qui m'ont ouvert la voie et qui m'ont aidé de leur expérience. En

exposant mes croyances sur le même sujet, j'ai par ailleurs formulé mes critiques.

Dans un travail comme celui-ci, il est facile de tirer un grand nombre de conclusions générales: j'ai déjà indiqué les principales et je me propose d'en reprendre quelques autres dans des études ultérieures. On voudra bien m'accorder quelques crédits.

Pour l'instant, il ne me reste plus qu'à conclure.

La sidérolification est la résultante de forces très variées et souvent contraires. Dans le cas, les conditions influentes sont essentiellement d'ordre climatérique: température élevée, précipitations atmosphériques abondantes, régime saisonnier; la nature du sol, ne joue qu'un rôle secondaire, aucune roche ne pouvant résister à l'érosion superficielle intense. Les conditions restrictives sont moins nombreuses, il n'y en a même qu'une seule de bien puissante: c'est la mer. La retraite progressive des mers de la Craie, qui permet l'émergence lente des continents sous un climat tropical marque le début de la formation sidérolithique, comme l'invasion des mers mollassiques en détermine l'arrêt? La mer est le grand facteur restricteur de la sidérolification.

Cette lutte du sol contre la mer est intéressante, non seulement pour le géomorphogéniste, mais aussi pour le paléogéographe. Elle montre, par exemple, que la sidérolification a commencé d'abord sur un point émergé, un îlot isolé, pour s'étendre progressivement au fur et à mesure que la mer lui cédait du terrain et aussi, qu'elle ne s'est pas arrêtée brusquement, mais lentement. De là, sans doute, ces bassins sidérolithiques délimités et isolés, avec leurs centres où la sidérolification paraît avoir atteint son maximum d'intensité? De là aussi, l'isolement originel des bassins, isolement encore accentué aujourd'hui par l'altération topographique du relief et qui peut prêter à confusion?

L'invasion ou le retrait des mers n'ont pas été brusques, mais plutôt très lents et peut-être ce fait pourrait-il expliquer le manque de synchronisme des sidérolithiques

européens ou même celui des différents sidérolithiques d'une région bien délimitée? En outre, l'abondance de leurs matériaux témoigne de l'intensité ou de la durée de l'action sidérolithique et partant, peut-être, pourrait-on admettre que les *centres* sidérolithiques actuels correspondent aux régions qui furent émergées les premières?

L'altération superficielle qui est le principe de la sidérolification est une action générale de l'érosion continentale. Elle s'est produite partout où les conditions restrictives ont autorisé l'activité des conditions influentes, car les roches, qui peuvent résister plus ou moins à leur attaque, ne peuvent y échapper complètement. Ces conditions influentes les plus puissantes sont celles qui produisent la latérisation, mais elles ne sont pas les seules capables d'altération. La formation des produits de décalcification des régions tempérées et même froides, le démontre suffisamment. La distribution géographique actuelle des produits sidérolithiques, si différenciés soient-ils, en est une autre preuve. Les bassins suisses du Jura (Jura oriental: Berne, Soleure et Jura méridional: Vaud, Genève) et des Alpes (Dents du Midi, Diablerets, etc....) sont reliés entre eux par la *Terre rouge* des Préalpes fribourgeoises et passent géographiquement toujours, à ceux de France (Est: Franche-Comté, Bourgogne; du Centre: Berry; du Sud-Ouest: Quercy....; du Plateau-Central: *Terre rouge* du Causse; du Sud-Est: vallées du Rhône et de la Saône), et d'Allemagne (Grand duché de Bade, Wurtemberg: Brisgau et Raube Alp, etc....), qui font la liaison par le Jura franconien, la Souabe et la Bavière avec ceux du Sud-Est (Carinthie, Carniole, Dalmatie, etc....), et du Nord-Est (Hongrie, Russie, etc., etc....). Quelque chose d'analogue pourrait être reconnu pour les zones tropicales et sub-tropicales. Enfin, dans toutes les parties du monde, on rencontre en profondeur ou à la surface du sol des matériaux qui proviennent d'altérations continentales superficielles, anciennes ou récentes.

Tous ces sidérolithiques n'ont souvent de commun que leur mode de formation: ils proviennent par altération hydrochimique de roches diverses, feldspatiques, éruptives, sédi-

mentaires, calcaires. Les unes sont très jeunes, en élaboration, incomplètement constituées, gardant très nets, leurs caractères ancestraux qui les rattachent à leurs roches-mères; les autres, bien plus anciennes, sont déjà individualisées. Les formes rudimentaires sont géographiques: terres rouges du Causse, des Préalpes, terra rossa de Carniole, produits de décalcification des régions tempérées, latérites des régions chaudes et humides. Les autres sont plus différenciées encore: phosphorites et phosphates, bauxites, latérites, sidérolithiques à bohnerz, etc.... Ce sont autant de types gradués d'un même travail réalisé avec des intensités différentes, tout en obéissant aux mêmes lois générales.

Ils ont par suite, un certain nombre de caractères communs qui fixent leur *faciès général*. Mais pris individuellement, ils sont cependant bien distincts: chaque type a son faciès particulier. *Ce faciès secondaire* est l'expression des milieux géologique (nature des roches-mères), géographique (conditions climatiques qui l'ont déterminé) et aussi de l'évolution (âge) du type sidérolithique. L'empreinte des milieux géologiques et géographiques est bien visible d'ordinaire chez les types sidérolithiques jeunes, qui ont conservé leurs caractères originaux; elle est par contre très atténuée chez les types anciens, qui sont des stades différenciés et divers des formes primitives, rudimentaires: *la latérite moderne passe à la bauxite, comme la latérite crétacique et tertiaire a passé au sidérolithique à bohnerz!*

Cette notion d'évolution, soit de vitalité, appliquée aux formations sidérolithiques ne manque pas d'intérêt. Sans parler de la question du *devenir* du Sidérolithique proprement dit actuel, elle montre dans un domaine que nous lui refusons, à tort sans doute, une application de cette pensée de Leibnitz: « Rien n'est mort, la vie est universelle ».

Explication de la planche II.

Fig. 7, 8, 9. Processus de formation des enclaves de marne hauterivienne dans les calcaires valangiens, d'après la théorie de M. le Prof. H. Schardt.

Fig. 7. Usure d'un pli en genou et mise à découvert des calcaires valangiens.

Fig. 8. Glissement des marnes hauteriviennes et leur inclusion entre les couches des calcaires.

Fig. 9. Glissement des calcaires valangiens et formation de l'inclusion.

Fig. 10. Formation d'une poche de sables dans les calcaires du Malm supérieur, à Soultz (près Delémont).

a. Gros blocs, altérés et corrodés, recouverts de terre végétale et de bol impur.

b. Fragments de calcaires obstruant la fissure et arrêtant le passage des éléments fins lévigués qui sont accumulés en *c*.

d. Remplissage de bol, de terre, de cailloux.

La fissure se continue en profondeur.

Fig. 11. Formation d'une poche d'altération (Chancre) dans les calcaires jaunes du Mont de Chamblon (Vaud).

a. Bol rouge, impur, ferrugineux, siliceux (gros grains de silice et glauconie libre), renfermant des pisolithes souvent altérées et amorphes et des fragments de calcaire altéré.

b. Toute la partie centrale de la poche est formée d'un bol grisâtre, peu ferrugineux, englobant des bandes d'un bol bleuâtre plus fin.

Les calcaires qui sont dans les bols extérieurs renferment parfois des fossiles de la roche encaissante.

Fig. 12. Poche fossilifère d'Obergösgen, d'après C. Mäesch.

a. Bolus jaune avec quelques pisolithes.

c. Sables siliceux jaunâtres.

Les zones colorées en noir indiquent la place des bohnuerz mêlés d'ossements.

La roche encaissante est très corrodée et appartient au Jurassique supérieur.

Fig. 7

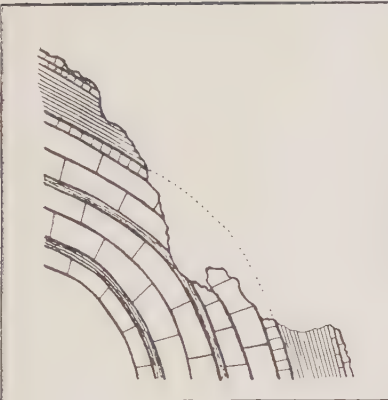


Fig. 10

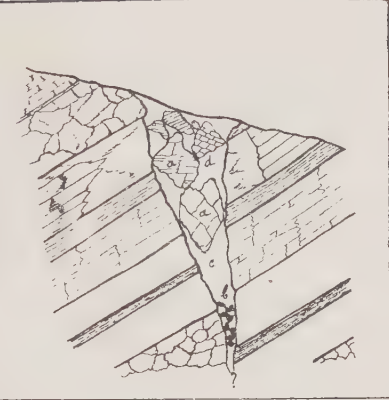


Fig. 8

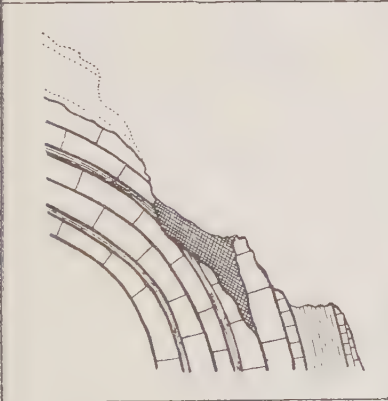


Fig. 11

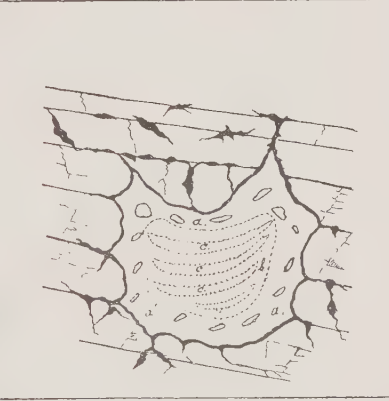


Fig. 9

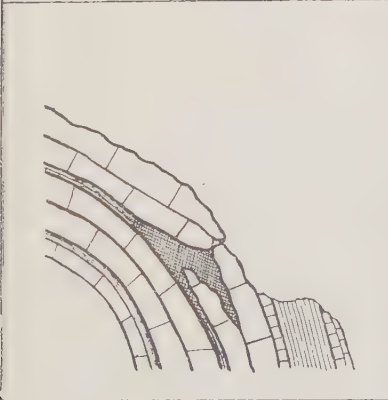
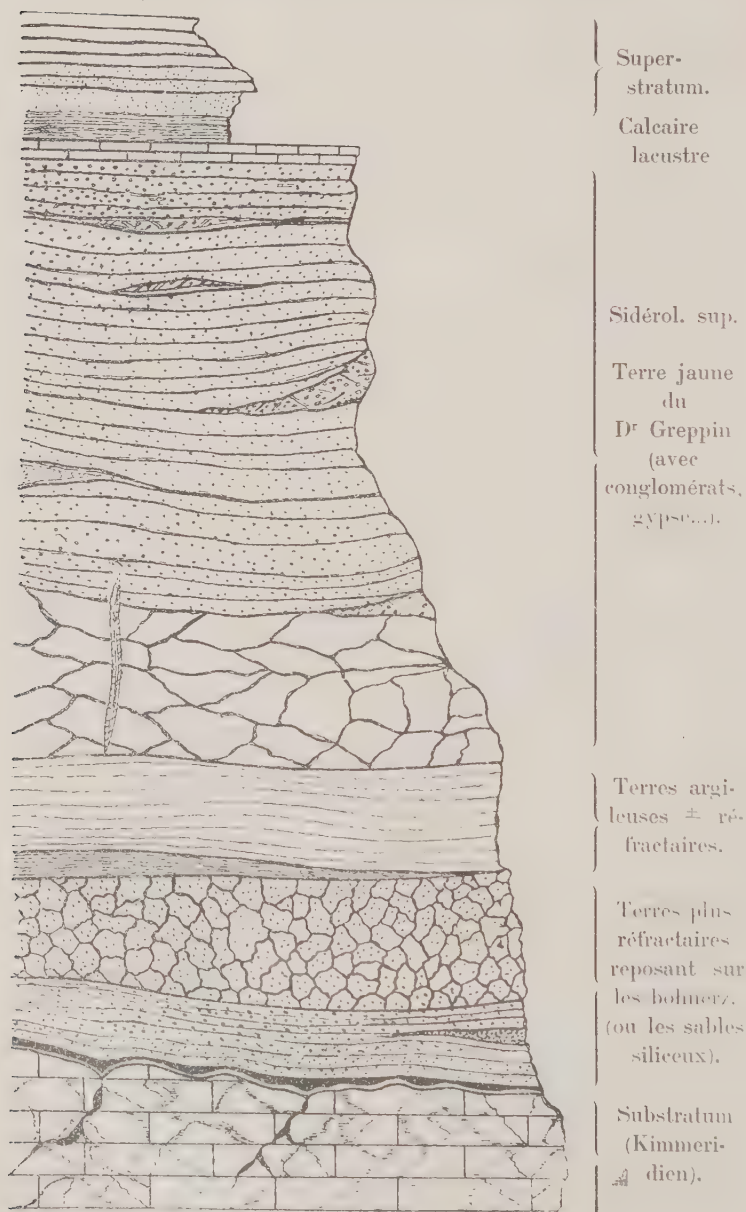


Fig. 12



Coupe générale du Sidérolithique suisse.

(Vallée de Delémont: puits vers la Gare).



Echelle: 1/1000.

Fig. 13.

En résumé, la sidérolification est une action constante et puissante de l'altération superficielle des continents.

Elle se réalise essentiellement par des dissolutions et des transformations chimiques. Les sels solubles sont en général enlevés, les autres sont concentrés par accumulation des résidus. Ce travail complexe, lent ou plus ou moins rapide, continu ou par à-coups répétés est étroitement dépendant des milieux géographiques et géologiques et il se réalise, avec des intensités variables, chaque fois que les conditions influentes ne sont pas arrêtées par les conditions restrictives. La variété des faciès sidérolithiques résulte de la lutte entre ces deux groupes de conditions et aussi des transformations que peuvent subir dans la suite les premiers résultats de l'altération superficielle. Mais dans tous les cas, le faciès garde un double cachet géographique et pétrographique.

Le Sidérolithique proprement dit à bohnertz de la Suisse, du Jura particulièrement, est une forme individualisée, évoluée et ancienne. Il résulte d'une longue série d'actions et de travaux que l'on peut rattacher à deux grandes phases :

1. **La phase de la Latérite**, pendant laquelle sous des conditions climatiques spéciales, les produits sidérolithiques se sont formés, par dissolution et désagrégation des roches suivant un processus plus ou moins comparable à celui qui forme actuellement les latérites des régions tropicales.

2. **La phase du Sidérolithique proprement dit**, caractérisée par un travail lent des eaux d'infiltration sur la latérite primitive. La stratification des dépôts, la formation des pisolithes, la concentration de certains éléments sont les principaux résultats de cette *remise en marche, in situ*.

C'est encore pendant cette seconde phase que l'allure et la répartition géographique des matériaux ont été modifiées, que leur faciès s'est individualisé.

Des causes accidentelles, bouleversements tectoniques, abrasions, eaux souterraines, etc.... ont pu aussi, pendant

cette longue évolution, jouer des rôles divers, influents, restricteurs, etc.... suivant les cas : mais il ne semble pas possible cependant de pouvoir leur attribuer une signification générale.

Enfin, l'évolution du Sidérolithique n'est pas terminée ; elle se poursuit actuellement encore, en même temps que la décalcification qui est la forme atténuée de l'altération superficielle. Les deux actions se confondent et souvent, superposent leurs matériaux et ainsi, des produits récents, actuels, se trouvent mêlés à des matériaux anciens. La latérite du Sidérolithique à bohrerz a dû commencer à se former vers la fin des temps crétaciques et atteindre son maximum de développement durant l'Eocène ¹⁾. Les faunes crétaciques sont inconnues dans les bohrerz, il est vrai, mais leur absence peut s'expliquer par les actions puissantes, en raison de leur longue durée surtout, de *la remise en marche* de la latérite primitive ; les faunes éocènes, par contre, moins longuement attaquées, ont mieux résisté. Par suite, les différentes assises d'un même dépôt ne sont pas nécessairement synchroniques ²⁾.

Le Sidérolithique suisse ne saurait donc plus être attribué, comme le voulaient les catastrophistes à des bouleversements anormaux et puissants ; c'est au contraire une formation régulière des agents météoriques, de l'eau de pluie en infiltration surtout : *c'est le résultat d'une altération superficielle des roches continentales par voie hydrochimique.*

¹⁾ Voir tableau D.

²⁾ Voir la coupe générale, p. 234. Cette coupe donne une assez bonne idée de la stratification des dépôts et permet de reconnaître pourquoi les assises supérieures ne sont peut-être pas synchroniques de celles de la base.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

des principales publications utilisées pour ces études.

Nota. — Afin de simplifier les indications, les abréviations suivantes seront employées pour les périodiques les plus répandus :

<i>Abh.</i>	Abhandlungen.
<i>Ber.</i>	Berichte.
<i>Bull.</i>	Bulletin.
<i>Ges.</i>	Gesellschaft.
<i>Proc.</i>	Proceedings.
<i>Sc. nat.</i>	Sciences naturelles.
<i>Soc.</i>	Société.
<i>Verh.</i>	Verhandlungen.
<i>Zeit.</i>	Zeitschrift.
<i>Actes Soc. helv.</i>	Actes de la Soc. helvétique des Sciences nat.
<i>An. Mines</i>	Annales des Mines de Paris.
<i>An. S. G. Nord</i>	Annales de la Société géologique du Nord.
<i>Bull. Soc. Neuchâtel</i> . .	Bull. de la Soc. neuchâteloise des Sc. nat.
<i>Bull. Soc. Vaud.</i> . . .	Bull. de la Soc. vaudoise des Sc. nat.
<i>B. S. G. F.</i>	Bull. de la Soc. géologique de France.
<i>B. S. belge</i>	Bull. de la Soc. belge de géologie.
<i>C. R. Acad.</i>	Comptes-Rendus de l'Acad. des Sc. de Paris.
<i>E. géol. helv.</i>	Eclogæ geologicae helvetiae.
<i>Matériaux</i>	Matériaux pour la carte géologique suisse.
<i>Not. C. G. F.</i>	Notices explicatives de la carte géol. de France.
<i>N. Jahrb.</i>	Neues Jahrbuch für Mineralogie.
<i>N. Denk.</i>	Neue Denkschriften der schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.
<i>Zeit. d. G.</i>	Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft.
<i>Zent.</i>	Zentrablatt für Mineralogie, etc.

Abt: Versuch eines systematischen Verzeichnisses der Schriften und Abhandlungen von Eisen. Berlin 1762.

Achenbach Ad.: Geognostische Beschreibung des Hohenzollernschen Landes. (Zeit. d. d. G., p. 429, vol. VII. 1856.)

Amiet A.: Description de la principauté de Neuchâtel et Valangin. Besançon 1642.

- Andrä A.**: Ein Beitrag zur Kenntniss des Elsässer Tertiärs.
(Abh. zur geolog. Spezialk. v. Elsass-Lothr. 3 Heft:
1884.)
- Archiac, d'.**: Géologie et Paléontologie, p. 654. Paris 1866.
— Histoire des progrès de la Géologie de 1834 à 1855.
Paris 1856.
- Aubuisson de Voisins J. F.**: Traité de Géognosie. Paris 1828.
- Barral**: Mémoire sur les Minerais employés à la fabrication
du fer dans le départ. du Cher. (Journal des Mines,
1809. XXVI, p. 241.)
- Baumberger E.**: Die Eisenerze im Schweizer-Jura. (Mittei-
lungen d. Naturforsch. Gesell. in Bern 1907.)
- Bauer M.**: Beiträge zur Geologie der Seyschellen, insbe-
sondere zur Kenntniss des Laterits. (N. Jahrb. 1898, II.)
- Beau E.**: Note géologique sur les minerais de fer de l'Aubois.
(B. S. G. F. 1858, 2^e, XV, p. 673.)
- Beaumont, Elie de**: Cours de géologie. Paris 1858.
— et **Dufrénoy**: Explication de la carte géologique de
France. 1848.
- Beck R.**: Gisements métallifères. (Traduction O. Chemin.)
- Benoit E.**: Observations sur le Sidérolithique des environs
de Montbéliard. (B. S. G. F. 1855, 2^e, XII, p. 1025.)
— Sur l'identité de formation du terrain sidérolithique
dans le Jura oriental, le Plateau-central et la Bresse.
(B. S. G. F. 1859, 2^e, XVI.)
— De l'extension géographique et stratigraphique du Pur-
beckien dans le Jura (B. S. G. F. 1879, 3^e, VII, p. 484.)
- Bertrand E.**: Essai de micrographie et d'hydrologie du canton
de Berne. 1766.
Dictionnaire universel des fossiles propres et des fos-
siles accidentels. La Haye 1763.
- Bertrand et Boulanger**: Texte explicatif de la carte du dép.
du Cher. 1850.
- Bibliographies générales**: E. de Margerie: Catalogue biblio-
graphique géologique: Abt. Blumhof, Winchell, Ken-
dall J. D., etc....: Catalogue abrégé de la bibliothèque
Ste Geneviève, fasc. II, p. 92, etc....

Bischof C. : Les argiles réfractaires. (Traduction O. Chemin, Paris 1906.)

Blayac : Note sur les lambeaux suessonien à phosphates de chaux de Bordj Redir et de Djebel Mzeita. (An. Mines, 1844, 9^e, p. 331.)

Bleicher : Recherches sur la structure microscopique du minerai de fer oolithique de Lorraine. (C. R. Acad. mars 1892.)

- Sur la structure de certaines rouilles; leur analogie avec celles des minerais de fer sédimentaires de Lorraine. (C. R. Ac. avril 1894.)
- Sur la structure et le gisement des minerais de fer pisolithiques de diverses provenances, etc..., 1894.
- Note sur les phénomènes de métamorphisme de production de minerai de fer consécutifs à la dénudation du plateau de Haye (Meurthe-et-Moselle). (B. S. belge, 1899, XIII, p. 187.)
- Structure et origine des dragées calcaires de la prise d'eau de Lisbonne et des Mines de fer de Marbach et de Chaligny. (Bull. soc. des Sc. de Nancy, 1899.) (Voir P. Choffat.)

Boblay : Des dépôts terrestres ou épigéniques à la surface de la Morée. (An. Mines, 1833, 3^e, IV, p. 99.)

Bonanomi A. : (V. Gressly A., 1866).

Bovet H. : L'exploitation du fer au val de Travers. Lausanne 1879.

Branco W. : Die Menschenähnlichenzähne aus dem Bohnerz der Schwäbischen Alb. Stuttgart 1898.

Brœck, E., van den : Du rôle de l'infiltration des eaux météoriques dans l'altération des dépôts superficiels. (C. R. du Congrès de géologie de Paris de 1878.)

- Note sur l'altération des roches quaternaires des environs de Paris par les agents atmosphériques. (B. S. G. F., 1877, p. 298-301.)
- Mémoire sur les phénomènes d'altération des dépôts superficiels par l'infiltration des eaux météoriques, etc..., Bruxelles 1881.

Brongniart Alex.: Traité élémentaire de minéralogie. Vol. II, p. 170, Paris 1817.

— Notice sur les brèches osseuses et les minerais de fer, pisiformes de même position géognostique. (Annales des Sc. nat., 1828, vol. XIV, p. 410); Observations additionnelles à la Notice..... (id., 1829.)

— Tableau des terrains qui composent l'écorce du globe, etc.... Paris 1829.

— (V. Cuvier.)

Bronner: Gemälde des Kantons Argau. 1844.

Buckland: Report of 9th Meeting British Assoc. at Birmingham. 1839.

Caravon-Cochin: Description géographique et géologique, etc.... des dép. du Tarn et du Tarn-Garonne. 1898.

Carnot Adolphe: Variations dans la composition des phosphates. (An. Mines, 1896, X, p. 137.)

— Minerais de fer de la France, de l'Algérie et de la Tunisie, analysés à l'école des Mines, de 1845 à 1889. (An. Mines 1890-1894.)

Carte géologique de France au 1:80000; de Suisse au 1:25000.

Cartier R.: Der Obere Jura zu Oberbuchsiten, eine geologische Skizze. (Verh. de naturf. Gesell. in Basel 1861).

— Geologische Notizen über die Mergel mit Thierresten und das Bohnerz zu Egerkingen. (In *Rütimeyer*, Eocaene Säugethiere 1862.)

— Ueber Wirbelthierreste von Aarwangen. (Verh. Basel 1856).

Cayeux: Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires. Lille 1897.

Chavannes L. S.: Note sur le terrain sidérolithique de la colline de Chamblon, près Yverdon. (Bull. soc. Vaud. 1855, IV, p. 360.)

— Collection de roches sidérolithiques du Mormont. (Actes Lausanne 1861, p. 68.)

— Sur le terrain sidérolithique du Mormont. (Archives des Sc. de Genève, 1862, XIX, p. 34.)

- Chavannes L. S.:** Etudes géologiques aux environs de la Sarraz. (B. Soc. Vaud. 1853, III, p. 197.)
- Essais sur la géologie du pied du Jura entre le Nozon et Yverdon. (Bul. Soc. Vaud. 1854, IV, p. 14.)
- Choffat P. et Bleicher:** Contribution à l'étude des dragées calcaires des galeries de mines et de captation d'eaux. (Communicações da direcç. dos serviços geologicos, 1900. IV.)
- Note sur les soi-disant calcaires alpins du Purbeckien. (B. S. G. F. 1877. 3^e. V. p. 564.)
- Collet L. W.:** Les concrétions phosphatées et la Glaucomie des mers actuelles. (E. géol. helv., 1906, IX, p. 118 — Archives de Genève et Actes 1905.)
- Les concrétions phosphatés de l'Agullas Bank (avec une note sur la Glaucomie qu'elles contiennent par G. W. Lee). Proc. of the royal Soc. of Edinburgh, 1904-05, XXV, part. X, p. 862.)
- Collot:** Age des bauxites de l'Est de la France. (B. S. G. F. 1887. XV, p. 331.)
- Coquand:** Mémoire sur les minerais de fer du dép. du Lot, du Lot-et-Garonne, de l'Aveyron et du Tarn-et-Garonne. (B. S. G. F., 1849, 2^e, VI.)
- Réplique au sujet de l'âge des minerais de fer de l'Aquitaine. (B. S. G. F., 1850, 2^e, VIII, p. 25).
- Sur les minerais de fer pisiformes de la Charente. (B. S. G. F. 1857. 2^e. XIV. p. 894.)
- Traité des roches. 1857.
- Cornuel:** Sur les minerais de fer du canton de Poissons. (B. S. G. F. 1839, 1^{re}, X, p. 139.)
- Cotta:** Die Lehre von den Erzlagerstätten. Freiburg 1859.
- Couroux:** Notice sur les minerais de fer de Delémont. (Bull. soc. industrielle minière 1857, II.)
- Credner:** Traité de géologie et de paléontologie. (Traduction 1879. Paris).
- Czyskowski:** Les minerais de fer de l'écorce terrestre. (Bull. soc. industrielle minière 1884, 2^e, XIII, p. 481.)

- Cuvier et Brongniart**: Description géologique des environs de Paris. Paris 1835 (3^e édit.).
- Dana J. D.**: Manual of Geology. 1845.
- Darcet**: Rapport fait à l'Institut national sur un mémoire de Baillet relatif à l'exploitation des mines en masse ou en amas. (Jour. d. mines, an VI, VIII, p. 488 et 521).
- Daubrée A.**: Recherches sur la formation journalière du minerai de fer des marais et des lacs. (An. Mines 1846, 4^e, X.)
- Recherches sur les fragments de bois imprégnés de minerai de fer. (C. R. Ac. 1845.)
 - Description géologique et minéralogique du Bas Rhin. 1852.
 - Les eaux souterraines aux époques anciennes. Paris 1887.
- Deffner**: Zur Erklärung der Bohnerzgebilde. (Württemb. naturwissensch. Jahreshft. XV. Jahrg. 1859, s. 274.)
- Delafond et Depéret**: Les terrains tertiaires de la Bresse. (Collect. des Etudes des Gisements minéraux de France. 1893.)
- De la Harpe Ph.**: Découverte faite par M. Greppin des ossements de l'Eocène, près de Delémont. (B. Soc. Vaud. 1853, III.)
- Formation sidérolithique dans les Alpes. (B. Soc. Vaud. 1855, IV, p. 232.)
 - Sur la faune du terrain sidérolithique dans le canton de Vaud. (B. Soc. Vaud. 1869, p. 457.)
 - et **Ch. Gaudin**: Sur les ossements fossiles trouvés au Mormont, près La Sarraz. (B. Soc. Vaud. 1852, III, p. 117.)
 - et **Renévier**: Excursion géologique à la Dent du Midi. (B. S. Vaud. 1855, IV, p. 261.)
- Delbos et Kœcklin-Schlumberger**: Description géologique et minéralogique du dép. du Haut-Rhin. Mulhouse 1867.
- Delanoue J.**: Sur la formation du minerai de fer d'Exideuil (Dordogne). (B. S. G. F. 1845, II, p. 338; III, p. 47.)
- Delesse**: Recherches sur les roches globuleuses. 1856.

Depéret Ch. : Etudes paléontologiques sur les Lophiodons du Minervois. (Archives du Museum d'Hist. nat. de Lyon. 1893. IX.)

— Sur un gisement sidérolithique de mammifères de l'Eocène moyen à Lissieu, près de Lyon. (C. R. Acad. 9 avril 1894.)

— et **G. Carrière** : Sur un nouveau gisement de mammifères de l'Eocène moyen à Robiac, près St-Mamert (Gard). (C. R. Acad. 21 octobre 1901.)

Dictionnaire géographique de la Suisse. Neuchâtel 1902.

Desor et Gressly : Etudes géologiques sur le Jura neuchâtois. (Soc. Sc. nat. Neuchâtel, 1859, IV.)

Dieulafait : Des bauxites, leur âge, leur origine. (C. R. Académie 1881.)

— Origine et mode de formation des phosphates de chaux en amas dans les terrains sédimentaires. Leur liaison avec les minerais de fer et les argiles des terrains sidérolithiques. (An. de chimie et de physique, 1885, 6^e, V, p. 204.)

Douvillé : Note sur le système du sancerrois et le terrain sidérolithique du Berry. (B. S. G. F. 1875, 3^e, IV, p. 92.)

Drouot : Minerais de la Dordogne. (An. Mines 1838, 3^e, XIII, p. 57.)

Douxami H. : Etudes sur les terrains tertiaires du Dauphiné, de la Savoie et de la Suisse occidentale. (Thèse 1896.)

Dufrénoy et Elie de Beaumont : Explication de la carte géologique de France. 1848. (3 vol.)

Dufrénoy : Rapport sur des mémoires de M. Robert : recherches géologiques sur le minerai de fer pisolitique et le deutoxyde de manganèse hydraté de Meudon. 1843.

Duhamel, fils : Extrait du rapport sur les forges et fourneaux de Belfort et de Chatenoi (Haut-Rhin). (Journal des Mines, an VI, p. 67.)

Duparc : Note sur la composition des calcaires portlandiens des environs de St-Imier. (Egl. géol. helv. 1890, I, n^o VI, p. 562.)

- Ebel J. G.**: Anleitung die Schweiz zu bereisen. 1810.
- Escher von der Linth**: Geognostische Schilderung des Kantons Zürich. 1844.
- Exposition de Paris**: Notice du Corps des Mines. 1878.
- Fabre**: Sur le terrain sidérolithique de la Lozère. (B. S. G. F. 1875, 3^e, III, p. 583.)
- Favre A.**: Considérations sur le Mont Salève et les environs de Genève. Genève 1843.
- Favre E. et Schardt H.**: Description géologique des Préalpes du canton de Vaud et du Chablais jusqu'à la Dranse et de la chaîne des Dents du Midi, formant la partie ouest de la feuille XVII. (Matériaux: XXII. 1887.)
- Four**: Note sur les dépôts de minerai de fer pisiforme de la Haute Savoie. (B. S. G. F. 1855, 2^e, XII, p. 1231.)
- Flachat, Barrault et Petiet**: Traité de la fabrication du fer et de la fonte. Paris 1842 (t. I, p. 160).
- Fellenberg**: Bohnerzenalysen. (Actes soc. jurass. Emulation 1863.)
- Fleury E.**: Le fer et le terrain sidérolithique dans le Jura bernois. (Bull. soc. fribourgeoise Sc. nat. 1903-04, XII, p. 29.)
- Une nouvelle poche ossifère sidérolithique à la Verrierie de Roche (Jura bernois.) (Egl. géol. helv. 1905, VIII, n° 5.)
 - Formation des minerais de fer en grains sidérolithiques. (Actes, 1907, I, p. 60). Fribourg.
- Forsth Mayor C.-J.**: Nagerüberreste aus den Bohnerzen Süddeutschlands und der Schweiz. Palæontographica. neue Folge II, 2. (XXII), 1873.
- Fournet J.**: Sur les minerais de fer répandus sur divers points depuis Candern et le Haut-Rhin jusque dans les départements méridionaux. (B. S. G. F. 1849, 2^e, VI, p. 229.)
- Fraas O.**: Sur la découverte d'une couche tertiaire à ossements du gypse des environs de Paris au sommet de l'Alb de Souabe. (B. S. G. F. 1852, 2^e, IX, p. 266.) Tertiäre Ablagerungen auf der Höhe der Württemberg.

Alb. (Württemberg. naturwiss. Jahres-Heft. 1851, Bd. 8, S. 56.)

Fraas O. : Beiträge zu der Palæoterium-Formation. (Würtemb. naturw. Jahresheste, 1852, VIII, p. 218.)

Froment J. : Détails au sujet de la formation des oolithes calcaires. (Archives de Lyon 1853.)

Fuchs et de Launay : Traité des gîtes minéraux et des gisements métallifères. Paris 1893 (t. 1, p. 797.)

Gaudin et de la Harpe : Ossements fossiles trouvés au Mormont. (B. S. Vaud. 1852, III, p. 101.)

— — Quelques détails nouveaux sur les brèches osseuses du Mormont. (B. S. Vaud. 1855, IV, p. 402.)

— Observations géologiques sur les brèches osseuses du Mormont. (1855-57, matériaux pour la paleontol. suisse.)

Gautier A. : Sur un gisement de phosphate de chaux et d'alumine contenant des espèces rares ou nouvelles et sur la genèse des phosphates et nitrates naturels. (An. Mines 1894, 9^e, V.)

Gilliéron V. : Structure géologique des environs de Bienne. (Actes soc. jurass. Emulation 1865.)

— Aperçu géologique sur les Alpes de Fribourg et descriptions du Montsalvens. (Matériaux XII. 1873.)

— Description géologique des territoires de Fribourg, Vaud et Berne de la feuille XII. (Matériaux XVIII. 1873.)

— Sur le calcaire d'eau douce de Moutier attribué au Purbeckien. (Verh. Basel VIII. 1887.)

Glocker : Handbuch der Mineralogie. 1831.

Greppin J. B. Dr : Tableau résumé de la division des terrains tertiaires du val de Delémont. (Actes, Porrentruy 1853.)

— Notes géologiques et complément sur les terrains modernes quaternaires et tertiaires du Jura bernois et en particulier du val de Delémont. (2 partie, in N. Denk. 1855-57.)

— Observations géologiques sur le Jura bernois. (Actes 1858.)

- Note sur les terrains tertiaires du Jura. (Actes soc. jurass. Emulation 1865.)
 - Tableau des terrains géologiques^r du Jura bernois (*id.* 1866.)
 - Essais géologiques sur le Jura suisse. Delémont 1867.
 - Description géologique du Jura bernois. (Matériaux, VIII, 1870.)
 - Observations géologiques, historiques et critiques. Bâle 1876-80 (5 numéros).
- Gressly A.:** Relief des environs de Laufen. (Actes 1837.).
- Observations sur l'origine et les gisements de fer pisolitique du Jura. (Actes, 1837.)
 - Geologische Bemerkungen über den Jura der nord-vestlichen Schweiz, besonders des Kantons Solothurn und der Grenzpartien der K. Bern, Aargau und Basel. (N. Jahr. 1836, S. 659.)
 - Observations géologiques sur le Jura soleurois. (Mém. soc. helv. II, IV, V, 1838-41.)
 - Rapport géologique sur les terrains parcourus par les lignes du réseau des chemins de fer jurassiens de Bienne à Bâle et de Delémont à Porrentruy. Berne. (Rapport concernant le réseau des chemins de fer du Jura bernois. Annexe III.) 1864.
 - 2^e rapport, avec des notes complémentaires de J. Bonanomi. Delémont 1866.
- Groddeck, Alb v.:** Die Lehre von den Lagerstätten der Erze. Leipzig. 1849.
- Grossouvre, A. de:** Note sur un nouveau gisement de phosphate de chaux (B. S. G. F. 1878. 3^e, VI, p. 315.)
- Sur le métamorphisme des calcaires jurassiques au voisinage des gisements sidérolithiques. (B. S. G. F. 1881, 3^e, IX, p. 277.)
 - Etude sur les gisements des phosphates de chaux du centre de la France. (An. Mines, 1885.)
 - Etude sur les gisements de minerai de fer du centre de la France. (An. Mines, 1886.)
 - Observations sur l'origine du terrain sidérolithique.

- Analogies avec certains dépôts triasiques. (B. S. G. F. 1888, 3^e, XVI, p. 287.)
- Sur l'Argile à silex des environs de Vierzon. (B. S. G. F. 1900, 3^e, XXVIII, p. 809.)
 - Nouvelles observations sur le terrain à silex du sud-ouest du bassin de Paris. (B. S. G. F. 1903, 4^e, III, p. 767.)
 - Sur l'âge des calcaires lacustres du Berry. (C. R. de l'Association franç. pour l'avancement des sciences. Reims 1907, p. 400.)
 - Feuille de Bourges au 320,000^e. (Bull. de la C. géol. France, 1905-06, n^o 115.)
- Gumbel**: Geognostische Beschreibung der Frankischen Alb. (Frankenjura.) Kassel 1891.
- Geognostische Beschreibung der Ostbayrischen Grenzberges. Gotha 1868.
- Gutzwiller**: Beitrag zur Kenntnis der Tertiärbildungen der Umgebung von Basel. (Verh. Basel. 1890. IX, Heft 1.)
- Die Eocänen Süsswasserkalke im Plateaujura, bei Basel. (Mém. Soc. pal. Suisse XXXII.)
- Gutzwiller** und **Schach**: Geologische Beschreibung der Kantone St. Gallen, Thurgau und Schaffhausen. (Matériaux 1883, XIX.)
- Halley, Omalius d'**: Eléments de géologie. Ed. 1831. Ed. 1835.
- Hauer K., Ritter v.**: Die Wichtigern Eisenerz vorkommen in der österreichischen Monarchie und ihrer Metallgehalt. Wien 1863.
- Hebert**: Analyse d'un mémoire du Dr Greppin sur les terrains modernes, quaternaires et tertiaires du Jura bernois, etc.... (B. S. G. F. 1855, XII, p. 760.)
- Note sur le terrain tertiaire moyen du Nord de l'Europe. (B. S. G. F. 1855, XII.)
- Heer O.**: Die Urwelt der Schweiz. Zürich 1865.
- Holland T. H.**: On the Constitution, Origin and Dehydration of Laterite. (Geol. Magaz. 1903.)
- Jaccard A.**: Description géologique du Jura vaudois et neuchâtelois et de quelques districts adjacents du Jura

- français et de la plaine suisse.... etc.... (Matériaux, VI, 1869.)
- Jaccard A.**: 1^{er} supplément. (Matériaux, VII (I), 1870.)
— 2^e supplément. (Matériaux, VII, (II), 1893.)
- Jaccard F.**: La région de la brèche de la Hornfluh. (Bull. des labor. de géol., géog. physique, miner. et paléont. de l'Univ. de Lausanne. N° 5, 1904.)
- Jacquot**: Esquisse géologique et minéralogique de la Moselle. Metz 1854 et Paris 1868.
- Jolissaint**: Carte du Jura bernois. 1839.
- Jordan**: Des terrains sidérolithiques. C. R. Acad. 1861.
- Kilian W.**: Notice explicative de la carte géol. de France (feuilles 115 Ferrette, 114 Montbéliard, 127 Ornan).
— Notes géologiques sur le Jura du Doubs. (Mém. soc. Emulation de Montbéliard, 1884-85.)
— Note sur les terrains tertiaires du territoire de Belfort et des environs de Montbéliard. (B. S. G. F. 1884, 3^e XII, 729.)
- Kindler**: Observations sur la formation de quelques minerais de fer. (An. de Poggendorff n° 1.)
- Kœchlin-Schlumberger**: Notes géologiques sur le Haut-Rhin. (B. S. G. F. 1856, 2^e, XIII, p. 729.)
- Kowalewski W.**: Monographie der Gattung Anthracotherium Cuv. und Versuch einer natürlichen Classification der fossilen Huftiere. Paleontographica. Neue Folge. 3. (XXII) 1873.
— On the Osteology of the Hyopotamidæ. (Philosophical Transactions 1873.)
- Kummich**: Eisenerze und Jaspisstein bei Kandern (in Leonhards Taschenbuch. 1816.)
- La Bèche**: A Geological Manual. London 1831.
- Laffon**: Naturwissenschaftliche Skizze des Kantons Schaffhausen. (Actes 1807.)
- Lang**: Geologische Skizze der Umgebung von Solothurn. 1863.
- Lang, E. Greppin et L. Rollier**: Coupes géologiques entre Soleure, Bienne et Moutier. (Egl. géol. helv. I. 1888.)

- Lapparent, A. de:** Traité de géologie. Paris 1883, 1885, 1893, 1901, 1905.
- Géologie en Chemin de fer. Paris 1888.
 - Divers articles sur l'Argile à silex, dans le B. S. G. F. 1872-1880.
- Launay, L. de:** Etude sur le Plateau central, la vallée du Cher dans la région de Montluçon. (Bull. carte géol. de France et des Topographies souterraines. 1892. N° 30.)
- Contribution à l'étude des gites métallifères. I. Sur l'importance des gites d'inclusions et de ségrégation dans une classification des gites métallifères. II. Sur le rôle des phénomènes d'altération superficielle et de remise en mouvement dans la constitution de ces gisements. Paris 1907.
 - Excursions à quelques gites minéraux et métallifères du Plateau central. (C. R. Congrès géologique 1900. II, p. 938.) Paris.
 - La Science géologique. Paris 1905.
- Livret-Guide** géologique dans le Jura et les Alpes de la Suisse. Congrès géol. VI. Sess. Zurich 1894.
- Leschevin:** Sur la présence du zinc et du plomb dans quelques minerais de fer en grains des ci-devant provinces de Bourgogne et de Franche-Comté. (Journ. des Mines, 1812, XXXI, p. 43.)
- Léonhard, C. Ritter v.:** Grundzüge der Géologie und Geognosie. Heidelberg 1839.
- Handwörterbruch der topographischen mineralogie. Heidelberg 1843.
 - Geognostische Skizze des Grossherzogthums Baden. 1861.
- Leuthardt F.:** Beiträge zur Kenntnis der Hupper Ablagerungen im Basler-Jura. (Ecl. géol. helv. 1906, IX, 401.) (*id.* Archives de Genève et Actes 1906.)
- Levallois:** Note sur les minerais de fer en grains ou minerais pisiformes (bohnerz des allemands). (B. S. G. F. 1870. XXVIII, p. 183.)

Lepsius: Geologie von Deutschland und den angrenzenden Gebieten. I. Teil: Das westliche und südliche Deutschland. Stuttgart 1887-92.

Locard A.: Monographie des mollusques tertiaires et fluviales de la Suisse. Deuxième partie. (Mém. paléont. Suisse, XIX, 1892.)

Lory: Description géologique du Dauphiné. Paris 1860.

Lugeon: La Brèche du Chablais. (Dissertation) 1896.

Machacek: Der Schweizer Jura, Versuch einer geo-morphologischen Monographie. (Petermanns Mitteil. Ergänzungsheft. 1905.)

Maillard G.: Monographie des invertébrés du Purbeckien du Jura. (Matériaux paléont. suisses, XI et supplément, XII, 1884-1885.)

— Quelques mots sur le Purbeckien suisse. (B. Soc. Vaud. XXI, 1886 et B. S. G. F. 1886, 3^e, XIII.)

— Monographie des Mollusques terrestres et fluviatiles tertiaires de la Suisse. (Matériaux paléont. suisses XVIII. 1892.)

Malinvaud: Mémoire sur le gisement, l'exploitation et le traitement des minerais de fer de la vallée de l'Aubois. (An. Mines, 1833, 3^e, IV, p. 247.)

Marcey, N. de: Note sur la confusion résultant de l'emploi de la dénomination d'argile à silex, etc.... (An. soc. géol. Nord. 1880, VII, p. 237.)

Marcou: Les géologues et la géologie du Jura jusqu'en 1870. (Soc. jurass. Emulation 1889.)

Mark, W. von der: Chemische Untersuchung von Gesteinen der oberen westfälischen Kreidebildungen. (N. Jahrb. 1856, VIII, p. 133.)

Martel E. A.: Les Abîmes, les eaux souterraines, les cavernes, les sources, la spéléologie. Paris 1894.

Mathey: Coupes géologiques des Tunnels du Doubs. (Mém. soc. helv. sc. nat. XXIX, 1883.)

— Observations géologiques au sujet des tunnels de Glovelier et de St-Ursanne. (Actes 1878.)

Mayer-Eymar K.: Versuch einer neuer Klassifikation der Tertiärgebilde Europa's. (Actes. Trogen 1857.)

- (Les essais de classification du tertiaire, de 1865, 69, 74, 81, 82, 84, 1900. — V. Actes. 1907.)

Merian P.: Beiträge zur Geognosie. Uebersicht der Beschaffenheit der Gebirgsbildungen in der Umgebungen von Basel, mit besonderer Hinsicht auf das Juragebirge im Allgemeinen. Basel 1821.

- Ueber Tertiärbildungen am Randen. (Verh. Basel. 1848, VIII, S. 30.)
- Mittheilung über die Tertiärformation im Jura. (Verh. Basel 1853.)
- Eocaen-Formation im Jura. (N. Jahrb. 1855.)
- Die Versteinerungen von Sta. Verena, bei Solothurn (Verh. Basel 1869.)

Meunier Stanislas: Origine de la bauxite et du fer en grains. (C. R. Acad. 1883, XCVI, p. 173 et XCVII, p. 1444.)

- Réponse à des observations de M. Augé et de M. de Grossouvre sur l'histoire de la bauxite et des minerais sidérolithiques. (B. S. G. F. 1888, XVII.)
- Recherches sur l'origine et le mode de formation de la bauxite, du fer en grains et du gypse. (B. soc. belge, 1888, II.)
- Sur l'origine et le mode de formation du minerai de fer oolithique de Lorraine. (C. R. Acad. 1901, CXXXII.)
- Géologie expérimentale. 2 vol. Paris 1899.

Meyer, H. von: Brief am Bronn, vom 4. mai 1846. (N. Jahrb. 1846, s. 470.) — *id.* vom 2. August 1849. (*id.* 1849, s. 547.)

- Wirbeltierreste vom Berner-Jura. (*id.* 1853.)

Moesch C.: Geologische Beschreibung des Aargauer Jura. (Matériaux, IV, 1867.)

- Der südliche Aargauer Jura und seine Umgebungen. (Matériaux, X. 1874.)

Montmollin A. de: Mémoire sur le terrain crétacé du Jura. (Mém. soc. Neuchâtel, 1833, I.)

- Morel Ch. F.:** Abrégé de l'histoire et de la statistique du ci-devant évêché de Bâle, réuni à la France en 1793, avec une carte du pays. Strassbourg 1813.
- Morlot A.:** Sur les dents fossiles des carrières de Soleure. (B, S. Vaud. 1854, IV.)
- Ueber das Vorkommen von Fossilien in der Huppererde Lengnau. (Mitteilung. Bern 1854.)
- Mousson:** Geologische Skizze von den Umgebungen von Baden 1840.
- Moulan:** Origine et formation des minerais de fer. Bruxelles 1904.
- Mühlberg F.:** Grenzgebiet zwischen Ketten- und Tafeljura. (Ecl. geol. helv. 1889, n° V, s. 397.)
- Excursionen von 1892 im Nord-Jura. (Ecl. geol. helv. 1893. III, n° 5, s. 413.)
- Der Boden von Aarau. 1896.
- Erläuterungen zur geol. Karte der Lägernkette. (Ecl. geol. helv. 1902, VII, N° 4.)
- Exkursionen 1902 im Jura. (Ecl. geol. helv. 1902, VII, n° 3.)
- Erläuterungen zu den geol. Karten des Grenzgebietes zwischen den Ketten- und Tafeljura. II. Teil. Geologische Karte des untern Aare-Reuss- und Limmattales. (Ecl. geol. helv. 1905, VIII, n° 5.)
- Müller A.:** Ueber die Entstehung der Eisen- und Manganerze im Jura. (Verh. Basel, 1853, I, s. 98.)
- Vorkommen von Mangan-Erzen im Jura. (Verh. Basel 1854.)
- Mémoire sur les mines de fer du Jura, 1854.)
- Geologische Beschreibung des Kantons Basel und der angrenzenden Gebiete. (Matériaux, I, 1884.)
- Necker L. A.:** Le règne animal ramené aux méthodes de l'histoire naturelle. Paris 1835.
- Ogérien, frère:** Histoire du Jura et des départements voisins. Paris 1865, 2 vol.
- Orbigny, d':** Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphique. Paris 1852.

- Pavlov M.**: Etudes sur l'Histoire paléontologique des Ongulés. VII. Artiodactyles anciens. (Bull. de Moscou 1899.)
- Etudes sur l'Histoire paléontologique des Ongulés en Amérique et en Europe. I. Groupe primitif de l'Eocène inférieur. (Bull. de Moscou 1887.)
- Penck A. et Du Pasquier**: Sur la présence du lœss fossilifère aux environs de Lyon. (Bull. soc. Neuchâtel XXIII, p. 55, p. 269.)
- Pictet F. J., Ch. Gaudin et Ph. de la Harpe**: Mémoire sur les animaux vertébrés trouvés dans le terrain sidérolithique du canton de Vaud et appartenant à l'Eocène. 1855-57.
- Pictet F. J. et Humbert**: Supplément au Mémoire sur les animaux. etc.... 1869.
- Pristwich J.**: Geology chimical, physical and stratigraphical. Oxford 1888.
- Poissons**: Minière de Poissons (Haute Marne). (Journal des Mines, an VI, VIII, p. 521. — V. Darcet.)
- Quiquerez A.**: Recueil d'observations sur le terrain sidérolithique dans le Jura bernois et particulièrement dans le val de Delémont et de Moutier. (N. Denk. XII. 1850-52.)
- Nouvelles remarques sur le terrain sidérolithique. (Actes. Porrentruy 1853.)
 - Préavis de la commission spéciale des mines du Jura aux éventualités d'épuisement des minerais de fer et aux questions qui s'y rattachent. Porrentruy 1856.
 - Notice historique et statistique sur les mines, les forêts et les forges de l'ancien évêché de Bâle. Porrentruy 1855.
 - Observations sur l'effet que produit le gaz carbonique dans les minières du Jura bernois. (Actes 1855.)
 - Carte de l'exploitation des mines de fer de la vallée de Delémont. Winterthour 1859.
 - Rapport sur la question d'épuisement des mines de fer du Jura bernois à la fin de l'année 1863. (N. Denk. XXI, 1864.) (Avec une carte au $\frac{1}{50000}$.)
 - Sur la sidérurgie du Jura en 1871. (Actes soc. jurass. Emulation 1872.)

Raulin: Sur l'âge des sables de la Saintonge.... et de plusieurs minerais de fer tertiaires de l'Aquitaine. (B. S. G. F. 1849, 2^e, VI, p. 679.)

Renevier: Sidérolithique du Lac de St-Point. (B. S. Vaud. 1860.)

— Coupe géologique des deux flancs du bassin d'Yverdon. (B. Soc. Vaud. 1869. X.)

— Tableau des Terrains sédimentaires. (B. Soc. Vaud. 1873. XIII.)

— Monographie des Hautes-Alpes Vaudoises (Matériaux XVI, 1890.)

— Chronographie géologique. (C. R. Congrès géologique de Zurich 1894. — Ecl. géol. helv. 1897, V, n° 1.)

— Envahissement graduel de la mer éocénique aux Diablerets. (Ecl. géol. helv. 1891, II, n° 3.)

Resal: Statistique géologique et minéralogique des dép. du Doubs et du Jura. Besançon 1864.

Rittener: Crevasse sidérolithique ossifère à la gare d'Eclépens. (B. Soc. Vaud. 1884, XX.)

Rissler E.: Géologie agricole. Paris 1897.

Rollier L.: Excursion de la Soc. géol. suisse au Weissenstein et dans le Jura bernois du 8 au 11 août 1888. (Ecl. géol. helv. 1888, III; Actes, Archives de Genève 1888.)

— Etude stratigraphique sur les terrains tertiaires du Jura bernois: partie méridionale. (Ecl. géol. helv. 1892, III, n° 1); partie septentrionale (Ecl. géol. helv. 1893, IV, n° 1).

Structure et histoire géologique de la partie du Jura central comprise entre le Doubs (Chaux-de-Fonds), le val de Delémont, le lac de Neuchâtel et le Weissenstein. (Matériaux 1893, VIII, 1^{er} supplément.)

— Zur Kenntniss der tertiären Süsswasserkalke. (N. Jahrb. 1897. I. p. 212.)

Excursion dans l'Oligocène des environs de Montbéliard. (B. S. G. F. 1897. p. 1032.)

— Deuxième supplément à la description géologique de

la partie jurassienne de la feuille VII de la carte géologique de la Suisse. (Matériaux 1898, XXXVIII; nouvelle série, VIII.)

- Poches d'Albien dans le Néocomien de Neuchâtel. (Ecl. géol. helv. 1898, V, n° 7.)

Compte rendu des excursions de la Société géologique de France à Porrentruy en 1897. (B. S. G. F. 1898.)

Une nouvelle poche fossilifère de sables sidérolithiques. (B. Soc. Neuchâtel, XXIX, 1900-01.)

- Jura. Dictionnaire géographique, 1903.

- Le plissement du Jura. (Annales de géographie, 1903, XII.)

Beweis, dass die Natheim-Wettinger-Schichten auch auf der Basler Tafellandschaft, etc.... ursprünglich vorhanden waren. (Vierteljahrsschrift naturforsch. Gesell. im Zürich, 1903, XLVIII, p. 458.)

Recherches sur la provenance des sédiments de la molasse et en particulier du calcaire du Randen. (Archives de Genève, 1904, XVIII, p. 468.) (*id.* Ecl. géol. helv. 1905, VIII, n° 4, p. 414.)

- Gisement de Dysodele à Oberdorf, près Soleure: (Ecl. géol. helv. 1905, VIII, n° 4, p. 412.)

Sur le Tunnel du Weissenstein. Notice préliminaire. (Ecl. géol. helv. 1905, VIII, n° 5, p. 541) *et*: Rectifications relatives à ses notices dans le vol. VIII des Eclogæ (*id.* p. 545).

Die Bohnerzformation oder das Bohnerz und seine Entstehungsweise. (Vierteljahrsschrift d. Naturforsch. Gess. im Zürich, L. 1905, s. 151.)

Rütimeyer L.: Ueber einige Beziehungen zwischen den Säugetier-Stämmen alter und neuer Welt. (Abh. der Schweiz. paleontolog. Gess. XV, 1888.)

- Uebersicht der eocänen Fauna von Egerkingen, nebst einer Erwiderung an Prof. E. D. Cope. (*id.* XVII, 1890.)

Die eocäne säugetierwelt von Egerkingen. (*id.* XVIII, 1891.)

Salmann: Sur la bauxité des Baux. (B. S. G. F. 1865, XXII.)
Salzard: Minières et minerais de fer du dép. de la Haute Marne. 1878.

Sandberger F.: Die Land und Süsswasserconchylien der Vorwelt. Wiesbaden 1870-75.

— Die Conchylien des Mainzer Tertiärbetons. Wiesbaden 1863.

Schardt H.: Notice géologique sur la mollasse rouge et le terrain sidérolithique. (B. S. Vaud. 1883. XVI.)

— Etude géologique sur l'extrémité méridionale de la chaîne du Jura (Reculet-Vuache). (B. S. Vaud. 1891. XXVII, p. 69.)

— Note sur des remplissages sidérolithiques dans une carrière sous Belle Roche, près Gibraltar (Neuchâtel). (B. S. Neuchâtel, 1898-99, XXVII.)

— et **Baumberger**: Etudes sur l'origine des poches hauteriviennes. (B. Soc. Vaud. 1895, XXXI, p. 247 et Ecl. géol. helv. 1897.)

— Une poche hauterivienne dans le Valangien, aux Fahys, près Neuchâtel. (B. S. Neuchâtel 1899-1900, XXVIII.)

— Nouveau gisement d'Albien à la Coudre, près Neuchâtel. (*id.* 1900-01, XXIX.)

— Sur divers gisements anormaux du Crétacique. (*id.* 1903-04, XXXII.)

— V. Favre.

Scheuchzer J. J.: Bibliotheca scriptorum historiae naturalis. Zurich 1751.

Siegfried J.: Der schweizerische Jura. (*im* Die Schweiz.) Zürich 1851.

Schmid C.: Ueber tertiäre Süsserwasserkalke im westlichen Jura. (Centralblatt 1904, s. 609.)

— Exposition nationale à Genève 1896. Groupe 27. Rohrprodukte und deren erste Verarbeitung. Genève 1896. Bild und Bau der Schweiz. Basel 1907.

Führer zu den Exkursionen der deutschen geologischen Gesellschaft im südlichen Schwarzwald, im Jura und in den Alpen. Basel 1907.

- Stehlin H. G.:** Die Säugetiere des schweizerischen Eocæns. Kritischer Katalog der Materialien. (Abh. d. Schweiz. palæont. Gesell. XXX, XXXI, XXXII, XXXIII. 1903-1906.)
- Mammifères découverts dans une poche sidérolithique à Chamblon, près Yverdon. (Actes, Genève 1902; Ecl. géol. helv. 1902, VII, s. 365.)
- Studer B.:** Beiträge zu einer Monographie der Molasse. Bern 1825.
- Geologie der Schweiz. Bern 1853.
 - Index der Petrographie und Stratigraphie der Schweiz, und ihrer Umgebung. Bern 1872.
- Thevenin A.:** Etude géologique de la bordure S.-W. du Massif central. (Thèse.) Paris 1903.
- Thiessing F.:** Notice sur les richesses de la Suisse. (Actes Soc. jurass. Emulation 1876.)
- Thirria E.:** Notice sur le terrain jurassique de la Haute-Saône. (Mém. Soc. hist. nat. Strassbourg 1830, I et II.)
- Statistique minéralogique et géologique du dép. de la Haute-Saône. Besançon 1833.
 - Note sur les gisements de minerai de fer pisiforme (bohnerz) du dép. du Doubs recouverts par un dépôt lacustre appartenant aux terrains tertiaires. (B. S. G. F. 1834, VI, p. 32.)
 - Mémoire sur le terrain Jura-crétacé de la Franche-Comté. (An. Mines, 1836, 3^e, p. 95.)
 - Minerais de Magny (Côte d'Or). B. S. G. F. 1838, IX, p. 375.)
 - Sur les similitudes qui existent entre les minerais de fer en grains de la Franche-Comté et ceux du Berri et sur les particularités qui peuvent conduire à expliquer le mode de formation des gites de ces minerais. (An. des Mines 1851.)
- Tobler:** Ueber fossilführenden Quarzit aus den eocænen Huppergrube von Lausen. (Berichte über die 30. Jahrsamml. d. oberrhein. geol. Vereins in Mulhausen 1897.)

- Tobler**: Tabellarische Zusammenstellung der Schichtenfolge, in der Umgebung von Bascl. Basel 1905.
- Thurmann J.**: Essai sur les soulèvements jurassiques du Porrentruy. (Mém. Soc. Strassbourg, 1832-36.)
- Discussion relative au bohnerz. (B. S. G. F. 1838, 1^{er}, IX.)
- Lettres écrites du Jura à la Soc. d'Hist. naturelle de Berne (Berner Mittheilungen 1850-53.)
- Tribolet, de**: Notes sur différents gisements de bohnerz des environs de Neuchâtel (B. Soc. Vaud. 1877. XI.)
- Vauquelin**: Analyse d'un minerai de fer de la commune de Penne (Tarn). (Journal des Mines, an III, n^o XII.)
- Analyse de quelques minerais de fer de la Bourgogne et de la Franche-Comté. (Journal des Mines 1806.)
- Vézian**: Le Jura franc-comtois. Paris 1874-76.
- Villain F**: Le gisement de minerai de fer oolithique de la Lorraine. Paris 1902.
- Virlet**: Note sur la formation des oolithes ferrugineuses. (B. S. G. F. 1844, 2^e, I, p. 741.)
- Voltz**: Aperçu de la topographie minéralogique de l'Alsace. Strassbourg 1828.
- Voltz-Brief von Bronn. (N. Jahrb. 1836, s. 204.)
- Walchner**: Mémoire sur les minerais de fer pisiformes et réniformes des environs de Candern. (Mém. Soc. Hist. nat. Strassbourg, I, 1830.)
- Handbuch dergesamten Mineralogie. Karlsruhe 1829-32.
- Wurtemberg F. J.**: Die Tertiärformation in Klettgau. (Zeit. d. d. geol. Gesell. 1870, XXII, s. 471.)
- Wortmann J. L.**: L'origine du Cheval. (Revue scientifique, 1883, 3^e, III, p. 705.)
- Wurtz**: Dictionnaire de Chimie: *art. Limonite.*
- Zittel C.**: Traité de Paléontologie. (Trad. C. Barrois, 1894 IV, p. 232.)

CURRICULUM VITAE

Je suis né à Vermes, près Delémont, dans le Jura bernois (Suisse), le 24 octobre 1878, où j'ai fréquenté les écoles primaires jusqu'en 1890.

Après avoir successivement étudié dans les écoles de St. Genis-Laval (Rhône), de Delle (Ht. Rhin) et de Fribourg en Suisse, j'ai obtenu les diplômes du brevet de capacité (Valence) et de maturité (Lausanne).

En été 1902, après un séjour à Bâle pendant lequel, tout en étudiant l'allemand je suivis quelques cours à l'Université, je me fis immatriculer à la Faculté des sciences de l'Université de Fribourg, où pendant trois ans je me suis surtout occupé de chimie, de géologie et de géographie.

En 1905, M. R. de Girard m'ayant autorisé à commencer ma thèse sur les formations sidérolithiques suisses, je visitai une bonne partie du Jura suisse et français, la vallée du Rhône (massif des Dents du Midi, environs de Lyon), l'Allemagne du sud et l'Alsace. Je passai également une année à Paris pour consulter les bibliothèques et les musées.

J'ai été grandement aidé dans ce travail par mes maîtres, MM. les professeurs R. de Girard, J. Brunhes et aussi par MM. le professeur H. Schardt, de l'Académie de Neuchâtel, A. Carnot, alors directeur de l'Ecole des mines de Paris et L. de Launay, professeur à la même Ecole.

En 1906, l'Ecole d'Anthropologie de Paris m'a décerné son diplôme pour la zoologie et l'anthropologie.

Je suis membre des sociétés géologiques de France et de Suisse, depuis 1905.

Enfin, ma thèse sur « Le Sidérolithique suisse, contribution à la connaissance des phénomènes d'altération superficielle des sédiments » ayant été acceptée par la Faculté, j'ai subi l'examen oral du doctorat, le 11 mai 1907, à l'Université de Fribourg.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
PRÉFACE	v
I. HISTORIQUE	1
II. TYPES SIDÉROLITHIQUES	26
Produits de décalcification	27
Sidérolithique proprement dit	30
Bauxites et latérites	31
Phosphorites et phosphates	34
III. DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE	41
La formation sidérolithique dans le Jura	44
Canton de Schaffhouse	45
Canton de Zurich	46
Canton d'Argovie	47
Canton de Soleure	51
Canton de Berne	59
Canton de Neuchâtel, de Vaud, de Genève	72
La formation sidérolithique dans les Alpes	77
Conclusion	80
IV. LES MATÉRIAUX SIDÉROLITHIQUES	82
Aspect et structure des minerais	84
Composition chimique	94
Produits argileux et siliceux	109
Les sables ou hupper	110
Les argiles	113
Les produits calcaires: les raitsches	116
Les Conglomérats ou gonpholithes de Daubrée	120
V. STRATIGRAPHIE	126
Dépôts réguliers à faciès argileux	130
Dépôts réguliers à faciès siliceux	140
Dépôts irréguliers	144
Dépôts remaniés « in situ »	145
Dépôts remaniés charriés	148
Gisements anormaux	150

	Pages
VI. PALÉONTOLOGIE	157
Faunes et flores sidérolithiques	157
Faunes et flores des formations calcaires et siliceuses	166
Conclusions	172
VII. ORIGINES ET MODES DE FORMATION	174
Hypothèse d'Alex. Brongniart	178
Hypothèse d'Emile Thirria	181
Hypothèse d'Albert Müller	185
Hypothèse de Kœcklin-Schlumberger	186
Hypothèse de Gressly	187
Hypothèse de Quiquerez	190
Hypothèse de M. Frey	192
Hypothèse de Dieulafait	193
Filiation des hypothèses	198
VIII. CONCLUSIONS	199
A. Nature des phénomènes sidérolithiques	203
Origine superficielle	205
Altérations sidérolithiques	206
Tactique de la sidérolithification	209
La sériation des types sidérolithiques	213
B. Formation du sidérolithique proprement dit	216
Les bohrerz	223
Les bols	224
Index bibliographique	237

Au mémoire sont adjoints deux planches hors texte, deux diagrammes, un graphique et quatre tableaux.

